

## Apéndice B

### EL PROBLEMA DE LA TOMA DE DECISIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

#### ÍNDICE

B.1. Introducción .....	2
B.2. El paradigma positivista; los modelos normativos de toma de decisión .....	2
B.2.1. La teoría de la utilidad clásica. Base teórica y desarrollo .....	2
B.2.2. El tratamiento positivista de la incertidumbre mediante el enfoque probabilista .....	5
B.2.3. La teoría de la utilidad multiatributo .....	7
B.2.4. La teoría de sistemas .....	12
B.2.5. Los modelos normativos de toma de decisión .....	13
B.2.6. Otros desarrollos del problema entorno al paradigma positivista .....	20
B.2.6.1. La programación lineal y sus variantes .....	20
B.2.6.2. La simulación .....	22
B.2.6.3. El análisis estadístico de datos .....	25
B.3. La crisis del paradigma racionalista y la búsqueda de alternativas .....	26
B.3.1. Las críticas al racionalismo neoclásico .....	26
B.3.1.1. Las críticas a la teoría de la utilidad .....	26
B.3.1.2. Las críticas al criterio del valor esperado .....	27
B.3.1.3. Las dificultades asociadas a la estimación de la probabilidad .....	30
B.3.1.4. Las críticas a la teoría de la utilidad multiatributo .....	34
B.3.1.5. La racionalidad limitada .....	34
B.3.2. La búsqueda de alternativas .....	35
B.3.2.1. La irrupción de la psicología y los modelos descriptivos .....	35
B.3.2.2. Las variantes simplificadas de la teoría de la utilidad .....	39
B.3.2.3. El Proceso Analítico de Jerarquización (AHP) .....	40
B.3.2.4. El método "Electre" .....	43
B.3.2.5. Los sistemas expertos .....	45
B.3.2.6. Las técnicas simples de toma de decisión .....	46
B.3.2.7. El uso de la matemática difusa .....	47
B.3.2.8. Síntesis de los desarrollos de transición entre paradigmas .....	49
B.4. La aparición del paradigma postmodernista .....	50
B.4.1. Las técnicas de trabajo en equipo .....	51
B.4.2. Las metodologías "blandas" .....	51

B.4.3. Los modelos de requisitos .....	54
B.4.4. Las críticas al enfoque posmodernista .....	56
B.5. Hacia un enfoque integrador .....	60
B.5.1. Síntesis del desarrollo del problema .....	60
B.5.2. Los sistemas de soporte a la decisión (DSS) .....	61
B.5.3. El uso de “metáforas” .....	61
B.6. Bibliografía .....	63

## B.1. INTRODUCCIÓN

En el presente apéndice se recoge la descripción y análisis crítico de los elementos relativos al desarrollo del problema de la toma de decisión. Dichos elementos teóricos se han ordenado siguiendo el esquema de la evolución propuesto en la figura 2.2, recogida y comentada en el capítulo 2 de esta tesis, es decir, según la estructura marcada por los diversos enfoques de la cuestión:

- El enfoque o paradigma positivista
- Los movimientos y desarrollos de transición
- El enfoque o paradigma posmodernista
- La tendencia a la integración de los desarrollos precedentes

## B.2. EL PARADIGMA POSITIVISTA DEL PROBLEMA DE LA TOMA DE DECISIÓN

### B.2.1. La teoría de la utilidad clásica. Base teórica y desarrollo.

Uno de los primeros elementos de influencia en el problema abordado en esta tesis fue la denominada "Teoría de la utilidad", fundamentada en los principios del utilitarismo filosófico, cuyo origen se remonta al campo de la economía. Esta teoría ha ejercido un profundo influjo en el desarrollo teórico de la toma de decisión, e incluso hoy en día es un tema recurrente en las publicaciones al respecto (e.g. Wong et al., 2000). Todo ello la convierte en una referencia obligada en la descripción del tratamiento de la cuestión.

#### *El origen filosófico del utilitarismo*

El utilitarismo filosófico se suele atribuir a Bentham (1748-1832), si bien fue John Stuart Mill quien popularizó el concepto de utilidad, ampliamente aceptado entre los economistas del siglo XIX y principios del XX. Esta corriente de pensamiento parte de una concepción positivista del ser humano<sup>1</sup>, según la cual su objetivo se reduciría a la búsqueda

<sup>1</sup> Recuérdese al respecto la descripción del positivismo filosófico recogida en el Apéndice A

de placer y la huida del dolor. Por tanto, según este presupuesto, los objetos o actividades deben ser juzgados en función del placer o dolor que proporcionen sus propiedades, es decir, según su utilidad, de manera que todo hombre (o mujer) actuaría siempre con el objetivo de maximizarla.

Otra consecuencia importante de esta perspectiva a los efectos de la cuestión aquí tratada, es la concepción de la realidad como algo cognoscible e independiente de la percepción del sujeto, de manera que se reconoce la distinción entre el ser del objeto y el ser para el sujeto. Según esto, la utilidad es algo objetivo, independiente de la percepción del sujeto, por lo que cabría realizar una elección óptima entre alternativas con base en un criterio objetivo de utilidad.

En este enfoque se entrevé la influencia del positivismo de Augusto Comte (1798-1857), el cual contempla el comportamiento del ser humano únicamente desde la racionalidad y el determinismo, de modo que las acciones humanas serían predecibles, ya que estarían regidas por este criterio universal de utilidad. De hecho, el utilitarismo se encuadra en lo que se ha denominado “economía neoclásica”, o “racionalidad neoclásica”, en referencia a la similitud de planteamientos en relación con las corrientes de pensamiento renacentistas.

Esta racionalidad neoclásica implícita en la teoría de la utilidad puede sintetizarse en los siguientes presupuestos (Kast & Rosenzweig, 1985):

- i) Conocimiento completo de los factores ambientales relevantes
- ii) Capacidad de ordenar las preferencias según un criterio de utilidad
- iii) Capacidad de identificar la alternativa que maximiza la utilidad

Como puede observarse en los puntos anteriores, es evidente en este enfoque la existencia de una importante confianza en la razón humana y una concepción de la realidad como algo totalmente cognoscible e inteligible.

En definitiva, la teoría de la utilidad surgió como aplicación de los presupuestos del utilitarismo filosófico en la economía en primer término y más tarde, como fruto de la exportación de elementos de esta ciencia al ámbito de la gestión, en el campo de la teoría de toma de decisiones.

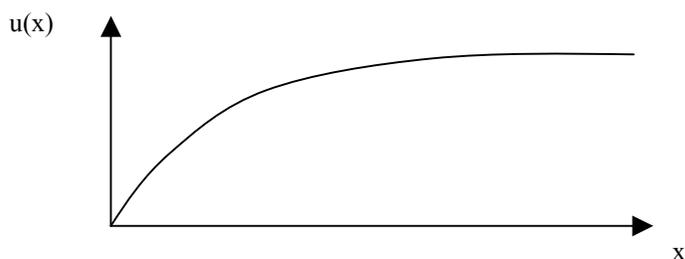
### *La medición de la utilidad*

En coherencia con lo presupuestos filosóficos anteriormente descritos, la introducción del concepto de utilidad debía materializarse en un modo concreto de medición que articulase de forma práctica y tangible estas ideas. Por ello, se inició la búsqueda teórica de un modo de llevar a cabo esta cuantificación.

En este sentido, la teoría de la utilidad experimentó un notable desarrollo en la economía a partir de la introducción del concepto de “utilidad marginal”, en el contexto de

la modelización de la demanda. Dicho concepto, atribuido a Lloyd y Longfield en 1834 y desarrollado por Carl Menger (1840-1921), Leon Walras (1834-1910) y William Jevons (1835-1882), se definió como la variación de satisfacción que conlleva el consumir una unidad más o menos de un cierto artículo considerado.

La introducción de este concepto dio pie a la denominada “función de utilidad”, construida a partir del cálculo de la utilidad marginal en cada intervalo considerado. Dicha función (figura B.1.), planteada normalmente con un recorrido entre 0 y 1, intentaba modelizar la utilidad producida por un cierto parámetro  $x$  considerado, planteado en un principio como cantidad de dinero.



**Figura B.1.** Función clásica de utilidad

La introducción de esta función constituyó un modo de medir la preferencia entre los diversos valores del parámetro  $x$  considerado, de manera que un hipotético decisor mostraría una mayor preferencia por una opción ( $x=x_1$ ) respecto a otra ( $x=x_2$ ) en la medida en que aportase una utilidad mayor, es decir,  $u(x_1) > u(x_2)$ . Obviamente, ello implica la asunción del concepto de utilidad como criterio de toma de decisión<sup>2</sup>.

Con la introducción de esta función parecía resolverse en gran parte la medición de la utilidad. Sin embargo, quedaba otro problema importante por resolver; la escala de medida de la utilidad. A este respecto, surgieron dos alternativas;

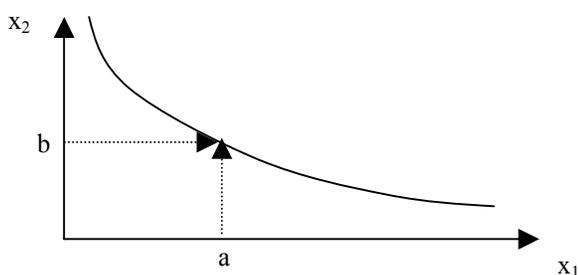
- i) Medición mediante una escala cardinal (Alfred Marshall, 1842-1924)
- ii) Medición mediante una escala ordinal (Pareto, 1848-1923; Fisher, 1867-1947).

La adopción de una escala cardinal implica que la proporción entre las medidas refleja el grado de preferencia. Así, por ejemplo, considerando un origen y unidad de medida arbitrarias, una opción cuyo índice de utilidad fuese el doble que el de otra implicaría que su preferencia sería también el doble.

Por otro lado, la escala ordinal supone un orden entre las alternativas, de manera que la proporción entre las medidas de utilidad no refleja el grado de preferencia. Obviamente la construcción de una escala ordinal es mucho más simple que en el caso anterior, si bien la descripción de la preferencia es más pobre.

<sup>2</sup> La construcción de la función de utilidad está descrita en un gran número de obras. Entre ellas cabe citar, por su profundidad, rigor y extensión la de Keeney & Raiffa (1993).

Las dificultades en la medición de la utilidad cardinal, entre las cuales destaca la falta de independencia preferencial entre las alternativas consideradas (Fisher, 1927)<sup>3</sup>, llevó a plantear otras soluciones al problema, entre las cuales destacan las “curvas de indiferencia”. Este concepto, propuesto por Edgeworth y refinado por Pareto y Fisher, se basaba en que todo consumidor podía identificar un punto de indiferencia entre dos bienes considerados, que daba lugar a la construcción de una curva de la forma (recogida en la figura B.2.), donde  $x_1$  y  $x_2$  son las cantidades de los dos artículos o bienes en cuestión. Cada uno de los puntos de la curva de la citada figura representa la relación entre los valores de ambos parámetros que producen indiferencia. Visto desde otro punto de vista, dado un valor cualquiera del primer parámetro ( $x_1=a$ ), el valor del otro parámetro que produciría igual grado de preferencia se encontraría sobre la citada curva ( $x_2=b$ ).



**Figura B.2.** Curva de indiferencia genérica

### B.2.2. El tratamiento positivista de la incertidumbre mediante el enfoque probabilista

A partir de la Segunda Guerra Mundial, el concepto de “utilidad cardinal” experimentó un importante avance a raíz del trabajo de Von Neumann & Morgenstern (1947) en el contexto de la teoría de juegos. Dichos autores propusieron un concepto de utilidad relativo a la elección de alternativas en el ámbito de la teoría de juegos, articulando el cálculo de la utilidad en el caso de dos posibles sucesos mediante la siguiente expresión;

$$u(x) = p \cdot u(x_1) + (p - 1) \cdot u(x_2) \quad (\text{B.1.})$$

donde  $x_1$  es el mayor de los dos posibles resultados y  $x_2$  el menor, y  $p$  es la probabilidad asociada al primero de ellos. Obviamente, en el caso de dos alternativas la complementariedad entre sucesos impone que la probabilidad asociada a la segunda adopte el valor de  $p-1$ .

Por tanto, en sentido estricto la concepción de la utilidad de estos autores difiere de la de los economistas neoclásicos del siglo XIX, ya que conlleva un elemento de riesgo inexistente en el concepto originario. Por tanto, además de su originalidad y rigor matemático, la aportación de Von Neumann & Morgenstern (1947) supone abrir las puertas

<sup>3</sup> Dicho autor identificó el hecho de que la medición de la utilidad de una cierta alternativa dependía del resto de las alternativas consideradas.

al tratamiento del problema de la toma de decisión en condiciones de incertidumbre, e implica, por tanto, superar el enfoque determinista anterior.

Con el fin de distinguir entre ambos casos, se introdujo posteriormente la denominación de “función de valor” para el concepto de utilidad en un ámbito determinista y el de “función de utilidad” en caso de considerar la incertidumbre (Keeney & Raiffa, 1976; Von Winterfeldt & Edwards, 1986). Esta distinción, no exenta de críticas<sup>4</sup>, implicó, además, una diferenciación en términos de medición; el concepto de utilidad se mediría mediante parámetros cuantitativos mientras que el valor implicaría una estimación cualitativa (mediante puntuación). Esta idea se muestra de forma resumida en la tabla B.1.

Concepto	Medición (tipo de parámetro)	Condiciones de la toma de decisión
Utilidad	cuantitativa	incertidumbre
Valor	cualitativa	determinista

**Tabla B.1.** Esquema de la distinción entre utilidad y valor en la teoría de toma de decisiones (Keeney & Raiffa, 1976)

El planteamiento Von Neumann & Morgenstern (1947) dio pie al concepto de “*utilidad esperada*”, generalizada posteriormente para el caso de  $n$  posibles sucesos mediante la adopción del *criterio del valor esperado* o esperanza matemática<sup>5</sup> aplicado al cálculo de la utilidad en el caso de existencia de incertidumbre asociada a los diversos posibles resultados de cada alternativa. Esta idea se expresó matemáticamente suponiendo un número limitado de posibles resultados (caso discreto) o considerando todos los posibles valores del parámetro  $x$  considerado (caso continuo).

$$\begin{aligned}
 E(u) &= \sum_{i=1}^n p_i \cdot u_i && \text{Caso discreto} \\
 E(u) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot u(x) \cdot dx && \text{Caso continuo}
 \end{aligned}
 \tag{B.2}$$

donde  $p_i$ ,  $u_i$ , son las probabilidades u utilidades calculadas en el caso discreto y  $f(x)$  y  $u(x)$  en el caso continuo. Las probabilidades se contemplaban en un principio como fruto de la recogida de datos históricos, si bien más adelante se planteó su obtención mediante un

<sup>4</sup> En este sentido, Von Winterfeldt & Edwards (1986) ponen en duda la distinción entre valor y utilidad calificando de espúrea “por que...no existe nada seguro, y por tanto los valores a los que se asigna resultados presumiblemente sin riesgo están de hecho ligados a suposiciones”. Fishburn (1970) sugiere también que la frase “toma de decisiones en condiciones de incertidumbre” es simplemente una abreviación de “toma de decisiones en las cuales la incertidumbre, sea la forma que adopte, se suprime y no se le da reconocimiento explícito”.

<sup>5</sup> Recuérdese que en estadística, el valor esperado o esperanza matemática de una variable  $x$  se calcula integrando o sumando todos sus posibles resultados multiplicados por sus probabilidades asociadas.

proceso de estimación subjetiva, lo cual condujo a la distinción entre “utilidad esperada” y “utilidad esperada subjetiva” (Savage, 1954).

Otro paso importante en el desarrollo del tratamiento de la incertidumbre en el ámbito neoclásico fue la introducción del teorema de Bayes (1702-1761) como modo de articular la revisión de juicios en la estimación,

$$p(A/B) = \frac{p(B/A) \cdot p(A)}{p(B)} \quad (\text{B.3.})$$

donde  $p(A/B)$  es la probabilidad condicionada del suceso A dado el suceso B,  $p(B/A)$  la de B dado A y  $p(A)$  y  $p(B)$  las probabilidades de los sucesos A y B respectivamente.

Mediante la introducción de este elemento matemático se conseguía un refinamiento de los juicios en relación con las probabilidades estimadas a las que se hacía referencia anteriormente en la expresión B.2. ( $p_i$ ) y un modo de articular una revisión de los mismos al incorporar nueva información en relación a sucesos que influyeran en las probabilidades consideradas (suponiendo, obviamente, el conocimiento de la probabilidad asociada a dichos sucesos).

### **B.2.3. La teoría de la utilidad multiatributo**

#### *Definición y presupuestos teóricos*

La teoría de la utilidad multiatributo, entre cuyos máximos exponentes destaca la obra de Keeney & Raiffa (1976), fue desarrollada a partir de los presupuestos anteriores de la teoría de la utilidad para su aplicación en el contexto de decisiones con múltiples objetivos. Surgió, por tanto, de la necesidad de resolver problemas en los que la estimación de la utilidad de las alternativas no dependía de un único criterio sino de varios, de manera que debía articularse una medición de la misma más general e integrada.

Para solucionar la cuestión, Keeney & Raiffa (1976) propusieron una teoría con un extraordinario rigor matemático, que supuso un importante impulso para el tratamiento del problema de la toma de decisión. Los elementos esenciales de esta teoría son (Watson & Buede, 1986):

- i) La aceptación del concepto de maximización de la utilidad anteriormente descrito.
- ii) La construcción de una función de utilidad que represente la estructura de preferencias del decisor. (Dicha función se construiría a partir de las funciones de utilidad para cada uno de los atributos considerados).
- iii) La posibilidad de asignar un valor numérico a cada atributo considerado.

A la segunda condición de las aquí expuestas se le ha denominado “Teorema Fundamental de la utilidad” (Fishburn, 1970)<sup>6</sup>.

### *La formulación de la utilidad*

A partir de estos presupuestos, se propone la construcción de una función de utilidad multiatributo,  $u(x_1, \dots, x_n)$ , siendo  $x_i$  los diversos atributos considerados. Keeney & Raiffa (1976) proponen tres posibles formas matemáticas de esta función, por orden descendente de generalidad:

- i) Multilinear
- ii) Multiplicativa
- iii) Aditiva

A efectos de este estado del conocimiento, no se cree oportuno adjuntar la expresión de la primera de ellas ni sus hipótesis. Sin embargo, sí se considera interesante recoger la formulación de la forma multiplicativa, caso particular de la primera, para mostrar su simplificación hasta adoptar la expresión de la forma aditiva simple. La citada forma multiplicativa<sup>7</sup> adopta la expresión,

$$\begin{aligned}
 u(x) = & \sum_{i=1}^n k_i \cdot u_i(x_i) + k \sum_{\substack{i=1 \\ j>i}}^n k_i \cdot k_j \cdot u_i(x_i) \cdot u_j(x_j) + \dots \\
 & \dots + k^2 \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ j>i \\ l>j}}^n k_i \cdot k_j \cdot k_l \cdot u_i(x_i) \cdot u_j(x_j) \cdot u_l(x_l) + \dots \\
 & \dots + k^{n-1} k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n \cdot u_1(x_1) \cdot u_2(x_2) \cdot \dots \cdot u_n(x_n)
 \end{aligned} \tag{B.4}$$

donde  $u_i(x_i)$  son las funciones de utilidad asociadas a los diversos atributos,  $k_i$  sus pesos y  $k$  es solución de la ecuación,

$$1 + k = \prod_{i=1}^n (1 + k \cdot k_i) \tag{B.5}$$

A partir de esta expresión, si se cumple la condición,

<sup>6</sup> Como puede observarse, el Teorema Fundamental de la Utilidad parte de la aceptación de la posibilidad de medición de la utilidad cardinal de Marshall anteriormente descrita.

<sup>7</sup> Para mayor detalle acerca de las hipótesis de partida de esta formulación puede consultarse las diversas ediciones de la obra de estos autores (Keeney & Raiffa, 1976; 1993).

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1 \Rightarrow k = 0 \quad (\text{B.6.})$$

la larga expresión anterior queda reducida a la forma aditiva sencilla,

$$u(x) = \sum_{i=1}^n k_i \cdot u_i(x_i) \quad (\text{B.7.})$$

que corresponde a la representación habitual de la formulación de la utilidad multiatributo. Sin embargo, es importante hacer hincapié en el hecho de que esto únicamente es cierto en caso de *mutua independencia en utilidad*<sup>8</sup> de los atributos.

### *El tratamiento de la incertidumbre*

En lo referente al tratamiento de la incertidumbre, se adoptó el criterio de la utilidad esperada anteriormente descrito para cada uno de los atributos considerados. Matemáticamente, podría expresarse del siguiente modo,

$$u = \sum_{i=1}^n k_i \cdot \int f_i(x) \cdot u_i(x_i) \cdot \quad (\text{B.8.})$$

donde  $k_i$ ,  $f_i(x)$  y  $u_i(x)$  son los pesos, distribuciones de probabilidad y funciones de utilidad asociadas al atributo  $i$ . Sin embargo, en la práctica esta teoría se aplica sobre todo en condiciones deterministas por la dificultad de disponer de las probabilidades asociadas a cada parámetro  $x$  considerado. Como puede observarse, la introducción de la utilidad esperada en el enfoque multiatributo supone una generalización de las aportaciones anteriores. Baste considerar, por ejemplo, la formulación de Von Neumann & Morgenstern (1947) como un caso particular en el caso de considerar un único atributo y dos posibles resultados del mismo.

### *Objetivos y atributos*

Otra de las aportaciones importantes del desarrollo de esta metodología es la terminología de la toma de decisión propuesta por Keeney & Raiffa (1976). Dichos autores distinguen entre los siguientes elementos del problema de la toma de decisión:

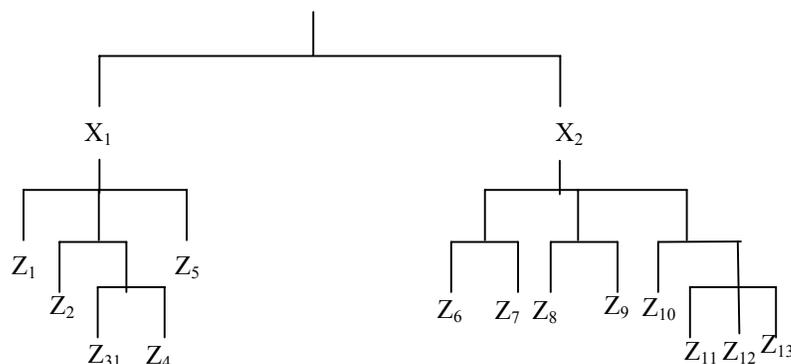
---

<sup>8</sup> Según Keeney & Raiffa (1993) un conjunto de atributos  $X_1, \dots, X_n$  son “mutuamente independientes en utilidad” (mutually utility independent) si cada subconjunto *es independiente en utilidad* de su complementario. A su vez definen “independencia en utilidad” de la siguiente manera (traducción libre): “un subconjunto es independiente en utilidad de su complementario si la preferencia que producen los posibles resultados de los atributos incluidos en ese subconjunto no depende de los resultados de su complementario”. El equivalente de este concepto en condiciones deterministas o de certeza es la “independencia preferencial” (Preferential independence).

- Objetivo:* dirección preferida de movimiento con respecto a una o más variables. Ejemplo: Minimizar el tiempo de suministro
- Atributo:* parámetro de medida de una variable. Ejemplo: tiempo de suministro
- Meta:* punto identificable de una variable que representa el alcance del aspecto considerado. Ejemplo: suministro en menos de 10 horas.

### La jerarquización de objetivos

Además, con base en estos términos, proponen una estructuración del problema basada en el concepto de “jerarquización de objetivos”, entendido como una estructura analítica de trabajo en el desarrollo de la toma de decisión, mediante un árbol abstracto de ordenación de estos objetivos (figura B.3.), cuyas ramas serían las n componentes de la función de utilidad multiatributo.



**Figura B.3.** Ejemplo de jerarquización de los objetivos de la toma de decisión (Keeney & Raiffa, 1976)

Sin embargo, de hecho, los citados autores apenas dedican unas líneas a esta cuestión, y la estructuración del árbol propuesto no tiene un paralelismo total con la formulación que proponen, pues en ella no se reflejan los diferentes niveles o ramas del mismo.

### El cálculo de los pesos de los diferentes atributos

La estimación de los pesos de la expresión de la utilidad multiatributo constituye otro de las grandes aportaciones de Keeney & Raiffa (1976). Los citados autores proponen en este sentido un proceso de cálculo que pretende afinar en la estimación de los mismos como alternativa a la asignación directa a cada atributo de un porcentaje de la importancia global. Para ello parten de la igualdad genérica,

$$u(x_1^{min}, x_2^{min}, \dots, x_i^*, \dots, x_n^{min}) = u(x_1^{min}, x_2^{min}, \dots, x_j^{max}, \dots, x_n^{min}) \quad (B.9.)$$

de donde se deduce,

$$k_1 \cdot u(x_1^{min}) + \dots + k_i \cdot u(x_i^*) + \dots + k_n \cdot u(x_n^{min}) = k_1 \cdot u(x_1^{min}) + \dots + k_j \cdot u(x_j^{max}) + \dots + k_n \cdot u(x_n^{min}) \quad (B.10.)$$

donde  $x_i^{\min}$  y  $x_i^{\max}$  corresponden a los valores donde el valor correspondiente al criterio  $u$  objetivo  $i$  alcanza un valor máximo (1) o mínimo (0) en valor absoluto<sup>9</sup>, y  $x_i^*$  es un valor medio del requerimiento  $i$  correspondiente al punto de indiferencia con el valor de máxima satisfacción del requerimiento  $j$ . Dado que por definición se cumple que

$$\begin{aligned} u(x_k^{\min}) &= 0; \quad \forall k = 1, \dots, n \\ u(x_k^{\max}) &= 1; \quad \forall k = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (\text{B.11.})$$

la expresión B.10. queda simplificada del siguiente modo,

$$k_i u_i(x_i^*) = k_j; \quad (\text{B.12.})$$

lo cual supone una ecuación que relaciona el valor de dos pesos cualesquiera, cual da lugar a un sistema de ecuaciones sobredeterminado. Para resolverlo, Keeney & Raiffa (1976) proponen establecer un proceso iterativo donde se vayan estimando y corrigiendo los pesos obtenidos. Obviamente, el proceso anterior presupone una jerarquización previa de los objetivos, ordenándolos de mayor a menor importancia.

Sin embargo, a pesar del interés de esta propuesta, el hecho de que el sistema de ecuaciones esté sobredeterminado, unido a la dificultad de estimación propia de las expresiones anteriormente descritas (estimar el valor de  $x_i^*$  supone en muchos casos una dificultad considerable para el decisor), lleva a cuestionar el valor práctico de esta aportación .

Además, este aspecto se agrava al considerar la posible dependencia de los pesos del propio valor del parámetro o atributo  $x$ . Baste pensar, por ejemplo, que la importancia que se le da a un posible criterio (por ejemplo, el coste) dependerá de los valores que este adopte.

Con relación a esta cuestión, Watson & Buede (1987) introducen la distinción entre lo que denominan “pesos de importancia” y “pesos fluctuantes”<sup>10</sup>. Según estos autores, los primeros se limitarían a sopesar su importancia relativa, y serían, por tanto, independientes del valor del atributo o requerimiento al que hacen referencia. Los segundos, sin embargo, contemplan las fluctuaciones del valor de los atributos en cuestión, es decir,

$$k = \phi(x) \quad (\text{B.13.})$$

donde  $\phi(x)$  representa una función genérica. Los citados autores afirman además que, en general, siempre existe una dependencia del valor de la función, si bien en ocasiones se

<sup>9</sup> Obviamente, según la definición genérica de función del valor,  $x^{\max}$  y  $x^{\min}$  no tienen por qué coincidir con los valores extremos del intervalo de variación de  $x$  considerado.

<sup>10</sup> “importance weights “ y “swing weights” en denominación original.

obvia por la dificultad de articular una forma de medición, y se asume el primer tipo de pesos citado.

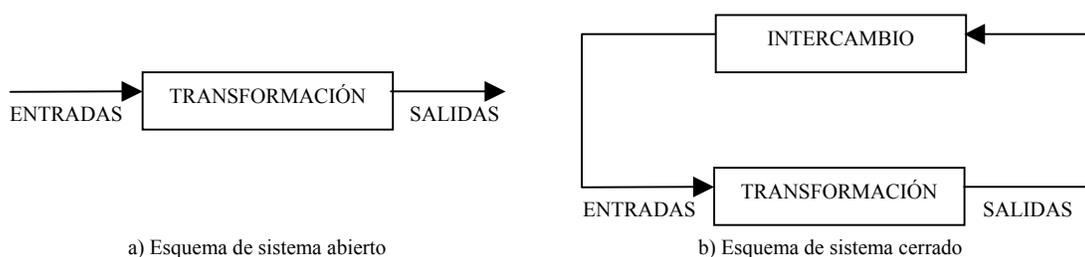
#### B.2.4. La teoría de sistemas

La teoría de sistemas podría definirse como “una disciplina que pretende integrar y unificar la información de varios campos del conocimiento” (Kerzner, 2001), es decir, intenta ser un instrumento para la resolución de problemas a través de una modelización donde aparezcan los diversos elementos y factores de los que depende. En este sentido, Beishon & Peters (1976) definen el concepto de “sistema” como “un conjunto o combinación de elementos o partes que forman un todo unitario y complejo”.

El origen de esta disciplina data de 1951, y se atribuye al biólogo Ludwig von Bertalanffy. Dicho científico desarrolló el concepto de sistema para aplicarlo en términos anatómicos, con el objeto de entender la relación entre los diversos subsistemas biológicos. De hecho, su aportación abrió las puertas a la integración de los conocimientos de los diversos especialistas en las diferentes partes del cuerpo. Posteriormente, la idea adquirió un mayor alcance en su aplicación, exportándose otros ámbitos, entre los que destacan el informático y el de la gestión, en especial en lo concerniente a la gestión de proyectos (Kerzner, 1976). Uno de los hitos en el desarrollo de esta disciplina en el ámbito de la ingeniería corresponde a la obra de Hall (1962).

La primera etapa del desarrollo de esta disciplina en el ámbito de la gestión estuvo empapada de las ideas positivistas. El concepto de sistema se entendió como un conjunto formado por unas entradas, un elemento transformador y unas salidas. Dicho sistema estaría regido por el principio de equilibrio energético, regulado a su vez por el principio de entropía.

Respecto a la clasificación o tipos de sistemas, la distinción más extendida es la relativa a su carácter abierto o cerrado. En la figura B.4 se adjunta una esquematización de estos dos tipos de sistemas, en los que puede observarse la modelización en entradas y salidas.



**Figura B.4.** Esquema de los dos tipos principales de sistemas (Jennings & Wattam, 1994)

En definitiva, el enfoque positivista indujo que esta modelización se tomase de forma rígida, de modo que sirviera de base para la cuantificación de los diversos parámetros del

sistema entorno al citado concepto de equilibrio energético, el cual daría lugar a la ecuación que marcaría la relación entre las diversas variables del sistema.

Por contraposición a posteriores desarrollos de la teoría de sistemas, a este enfoque positivista se le ha denominado tradicionalmente “teoría de sistemas duros”<sup>11</sup>. Como ejemplo de la aplicación de este enfoque en la gestión de la construcción puede citarse, por ejemplo, su aplicación en la modelización del proceso de diseño constructivo (Asimow, 1962; Markus, 1973).

### **B.2.5. Los modelos normativos de toma de decisión**

#### *Definición*

El desarrollo del paradigma positivista, principalmente entorno a la teoría de la utilidad y a la teoría de sistemas “duros”, dio origen a la aparición de lo que se denominó “modelos normativos” de toma de decisión. Con este concepto se engloban aquellas metodologías que, desde la asunción de los presupuestos de la racionalidad neoclásica (apartado 2.2 del cuerpo de tesis)<sup>12</sup>, guían la elección del decisor mediante un instrumento de carácter cuantitativo que le permite comparar de forma objetiva las diferentes alternativas. De hecho la misma palabra “normativo”, de tradicional empleo en el ámbito de la economía, evoca un significado de obligatoriedad, es decir, aquello que el decisor debería hacer para llegar a la solución correcta.

Del análisis de la literatura sobre la teoría de la decisión, en la presente tesis se distinguen cuatro elementos básicos, que servirán de estructura para el análisis de las diversas aproximaciones metodológicas al problema que se llevará a cabo durante este apéndice:

- i) El proceso metodológico de la toma de decisión
- ii) El análisis y estructuración del problema
- iii) La generación de alternativas
- iv) La evaluación o valoración de alternativas

#### *El proceso metodológico de la toma de decisión*

El proceso metodológico de toma de decisión es el conjunto de pasos o actividades ordenadas de forma coherente y orientadas a la obtención de un resultado o solución para el problema. Se trata de un elemento en el que no se ha hecho mucho énfasis en el ámbito de la teoría de la decisión, si bien en todos los enfoques del problema subyace de forma

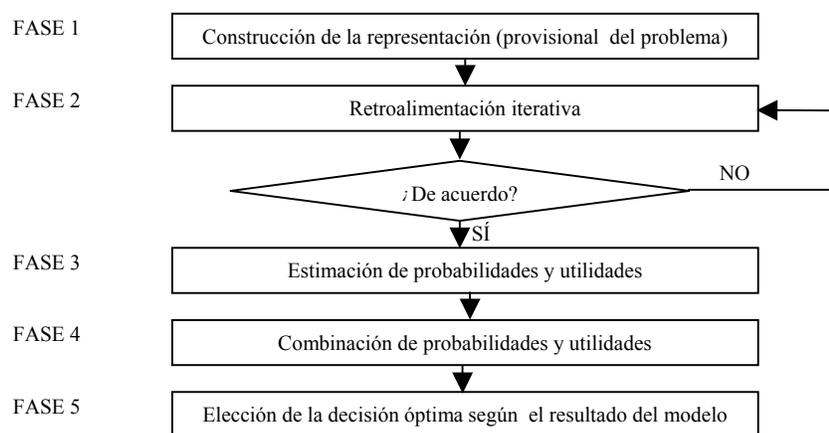
---

<sup>11</sup> En apartados posteriores (apartado B.4) se hablará del enfoque posmodernista de la teoría de sistemas, uno de cuyos baluartes es la denominada “teoría de sistemas blandos” de Checkland (1981).

<sup>12</sup> Para facilitar la lectura cabe recordar que estos principios son, se resumen en tres puntos principales: información perfecta, sensibilidad infinita, y elección basada en la maximización de la utilidad.

implícita o explícita esta cuestión. De hecho, la trascendencia de este aspecto adquiere mayor relieve al considerar que la aportación de formulaciones, herramientas de análisis, etc. no es suficiente para definir el modo de abordar el problema, sino que se debe articular entorno a un proceso, una secuencia lógica de actividades que las integre de forma coherente.

En este aspecto, se traslucen también las diversas filosofías o enfoques de fondo del problema, según su tendencia positivista o posmodernista (recuérdese al respecto la explicación recogida al principio del capítulo 2 y sintetizada en la figura 2.2). En el primer caso, articulado principalmente entorno a los modelos normativos de toma de decisión, se refleja el concepto de optimización y la integración de las herramientas de tipo cuantitativo anteriormente comentadas. Un claro ejemplo de esta idea es el diagrama de flujo del proceso correspondiente a este enfoque según lo describen Goodwin & Wright (1999) y que está representado en la figura B.5. Como puede observarse, el trazado de actividades corresponde a una articulación lógica del problema basada en la idea de solución única y donde quedan reflejados los instrumentos cuantitativos típicos de las metodologías “duras” de toma de decisión.



**Figura B.5.** Proceso de toma de decisión según el enfoque normativo (Goodwin & Wright, 1999)

En cualquier caso, existe una considerable diversidad acerca de la distinción entre las etapas del proceso. Así, por ejemplo, Keeney & Raiffa (1993) proponen un proceso similar, articulado entorno a las siguientes etapas<sup>13</sup>:

- i) Preanálisis
- ii) Estructuración del problema
- iii) Análisis de la incertidumbre
- iv) Análisis de la utilidad
- v) Análisis de la optimización

<sup>13</sup> Esta estructura sigue la línea de un número considerable de autores (Brown et al., 1974; Howard, 1968; Raiffa (1968); Winkler, 1972).

Sin embargo, en el análisis de las diversas estructuraciones pueden distinguirse tres fases principales, denominadas de modos diversos. Así, por ejemplo, León (1993) distingue tres etapas en el proceso de toma de decisión: preparación o identificación, producción (de alternativas) y evaluación. Jennings & Wattam (1996) hacen también referencia a estos tres pasos, a los que denominan “identificación”, “desarrollo” y “selección”. En definitiva, son las tres etapas identificadas para la estructuración de este análisis según lo comentado anteriormente: análisis y estructuración del problema, generación de alternativas o creatividad y evaluación o valoración de alternativas.

### *El análisis y estructuración del problema*

La primera de las fases citadas corresponde al análisis del problema. En ella se recoge la información sobre el mismo y se propone una estructura o modelo para entender y juzgar las diversas alternativas de solución. Tal vez uno de los aspectos más relevantes de este análisis es lo que se suele denominar “estructuración” del problema (León, 1993), en la cual se establece un esquema del mismo con el objetivo de hacerlo inteligible.

La cuestión es de notable trascendencia ya que, como es obvio, la estructura del problema condicionará el restante desarrollo del proceso de toma de decisión y la fiabilidad de los resultados. Así, por ejemplo, algunos autores identifican el hecho de que cuanto mayor es la estructura de un problema, menos fiables son los juicios de carácter general emitidos por el decisor (von Winterfeldt & Edwards, 1986). De ello se desprende que la estructuración ha de ser sencilla y con unas dimensiones razonables para que el decisor pueda asumirla y emitir un juicio coherente con ella.

Por otro lado, puede producirse una distorsión de los resultados provocada por un establecimiento inadecuado de los axiomas iniciales como, por ejemplo, dejar de considerar un cierto atributo (Fishhoff et al., 1978). En este caso, el método de evaluación no lograría modelizar numéricamente la percepción del decisor, puesto que la estructuración de partida es incorrecta.

Esta percepción de trascendencia de la cuestión de la estructuración del problema coincide con el creciente interés que ha suscitado en el ámbito de la toma de decisiones (Fishhoff, 1980, Von Winterfeldt, 1980; Keeney, 1980; Goowin & Wright, 1999). En este sentido, se ha reconocido que se trata de un aspecto poco estudiado, y se ha llegado incluso a proponer trasladar el peso del estudio del problema de la toma de decisión hacia la estructuración de la misma, frente al mayor énfasis que tradicionalmente se ha hecho en aspectos de tipo analítico, presuponiendo la existencia de una estructura de análisis, a la que se ha mantenido más bien fuera del debate (Fishhoff, 1980).

Obviamente, al tratar esta cuestión debe reconocerse la imposibilidad de llegar a la plena certeza de que los aspectos integrantes de la estructura considerada representen la percepción del decisor, si bien es importante avanzar en esta dirección planteando guías de razonamiento que le ayuden en la identificación y estructuración de las variables del problema.

Por otro lado, tal como subrayan Goodwin & Wright (1999), no existe una representación buena o mala de un problema en sentido absoluto, dado que la percepción del decisor será diferente en cada caso. Sin embargo, sí puede concluirse que una estructuración se adecua más que otra a la realidad del problema tal como la percibe el decisor. Según Keeney (1980), la estructuración del problema mediante un árbol o similar, “no sólo ayuda a definir el problema, sino que promueve la confianza entre el cliente y el suministrador”.

Algunos autores (e.g. Humphreys, 1980) califican el proceso de representación del problema como más importante que el subsiguiente proceso analítico. El citado autor denomina a este último “valor directo” y al primero “valor indirecto” de la toma de decisión.

Por otro lado, parece estar reconocido el hecho de que no existe ninguna técnica de tipo normativo<sup>14</sup> para determinar la estructura del problema, lo cual, en opinión de algunos autores (Fischhoff, 1980; Goodwin & Wright, 1999) es “el mayor problema del análisis de decisión” (Fischhoff, 1980). A este respecto, Von Winterfeldt (1980) propone realizar este proceso de estructuración de forma iterativa, y ensalza el valor de dedicar mucho esfuerzo en esta tarea, manteniendo una mentalidad abierta ante posibles revisiones.

El discreto énfasis teórico sobre la cuestión redundante, lógicamente, en un modesto desarrollo de herramientas de tipo práctico. En el contexto del paradigma positivista destacan las siguientes:

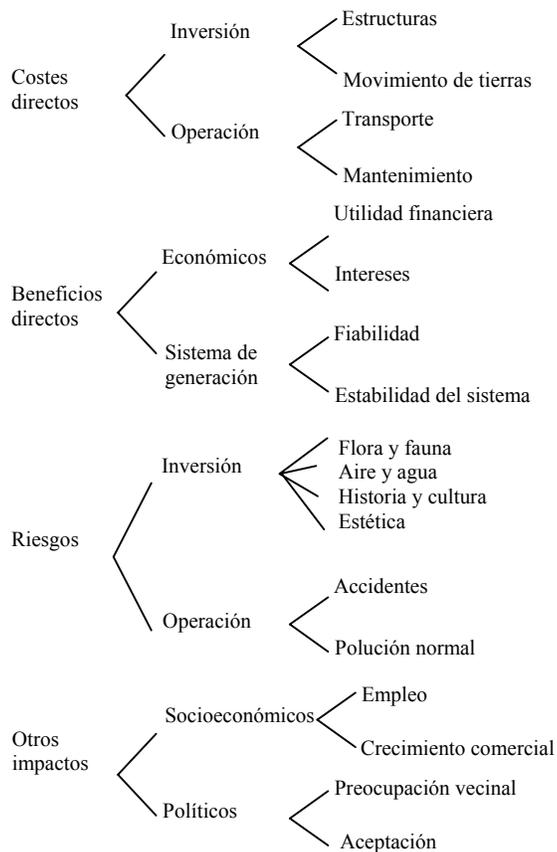
- a) Los árboles de valor o de jerarquización de objetivos
- b) Los árboles de decisión
- c) Los diagramas de influencia
- d) Los árboles de fallos y los diagramas causa-efecto

#### a) El árbol de valor

El árbol de valor es una estructuración de los criterios de la toma de decisión, a la que se hacía referencia anteriormente al tratar la jerarquización de objetivos en el contexto de la teoría de la utilidad multiatributo (Keeney & Raiffa, 1976). En la figura B.6. se adjunta un sencillo ejemplo de aplicación, que recoge los criterios u objetivos de una decisión acerca de la instalación de una central nuclear. Tal como se observa en la , el árbol de valor se utiliza en un contexto determinista, de modo que permite una valoración de las alternativas con base en los criterios identificados.

---

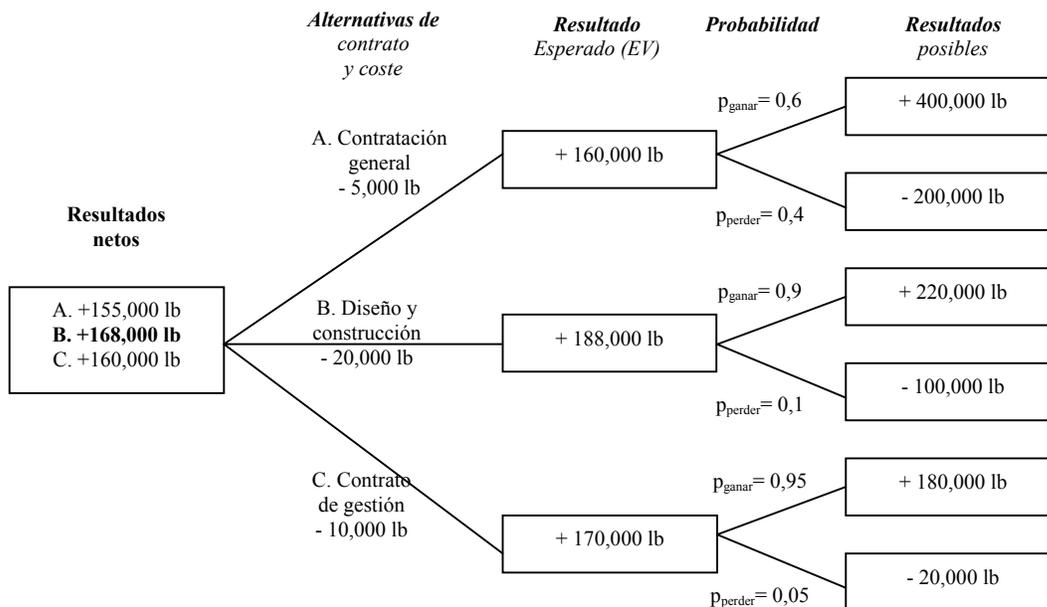
<sup>14</sup> Por “técnica normativa” se entiende, en el contexto de la teoría de toma de decisiones, aquella que introduce unas pautas para llegar a una solución del problema considerada como única u óptima.



**Figura B.6.** Ejemplo de árbol de valor (León, 199)

b) El árbol de decisión

El árbol de decisión es una estructuración lógica en condiciones de incertidumbre de los posibles sucesos asociados a una cierta toma de decisión y sus probabilidades correspondientes. Normalmente se articula entorno al concepto de valor esperado, tal como se observa en la figura B.7 (página siguiente), donde las ramas del árbol representan las diversas posibilidades de ocurrencia y sus resultados y probabilidades asociadas, a través de los cuales se calcula el valor esperado, que sirve como criterio de elección. Obviamente, la alternativa a escoger será aquella que tenga un valor esperado mayor (la alternativa B en el ejemplo de la citada figura).



**Figura B.7.** Árbol de decisión para posibles alternativas de contratación en un proyecto de construcción (Flanagan & Norman, 1993).

Nota: Los resultados están expresados en libras esterlinas (lb)

### c) Los diagramas de influencia

Como se observa en la figura B.8.a., el diagrama de influencia se basa en el establecimiento de relaciones entre resultados (representados en la figura mediante elipses) y decisiones (representadas como rectángulos)<sup>15</sup>. Entre ambos tipos de elementos se establecen lazos de dependencia en el sentido de las flechas.

En síntesis, dicho diagrama supone una herramienta de apoyo a la comprensión del problema que recoge y relaciona de forma lógica los diversos aspectos que intervienen en el factor analizado. Sin embargo, a pesar de que ha demostrado ser un modo eficaz de identificar los diversos elementos a considerar (atributos, objetivos, etc.), impone una relación de causalidad que no corresponde a la ordenación jerárquica que requiere el problema. Es decir, de cara a la evaluación de alternativas es mucho más operativo el esquema del árbol de valor o del árbol de decisor, ya que permiten discriminar claramente una opción, mientras que el diagrama de influencia ayuda a profundizar en las causas del problema.

<sup>15</sup> Para una descripción más extensa de los diagramas de influencia pueden consultarse, por ejemplo, los trabajos de Howard (1989) ó Oliver & Smith (1990).

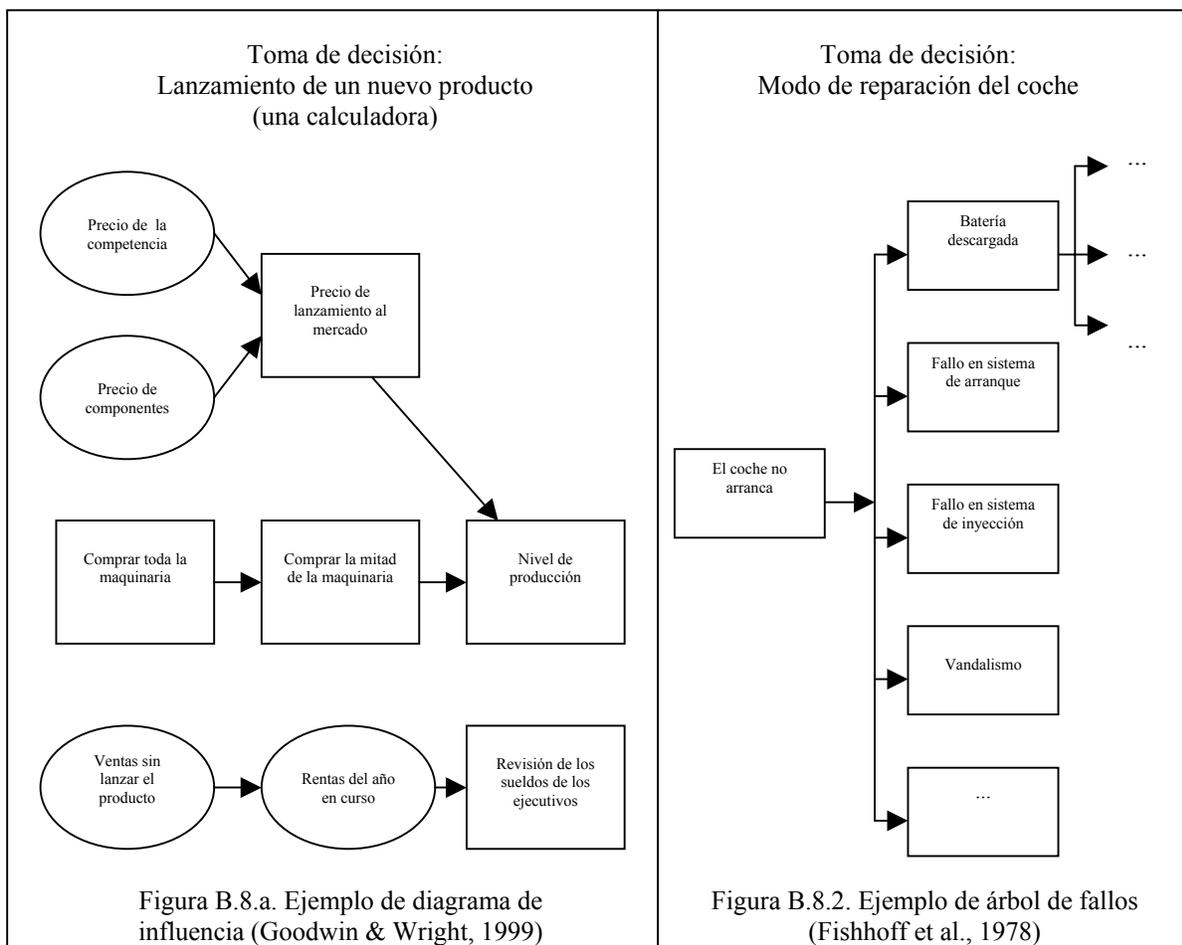


Figura B.8.a. Ejemplo de diagrama de influencia (Goodwin & Wright, 1999)

Figura B.8.2. Ejemplo de árbol de fallos (Fishhoff et al., 1978)

**Figura B.8.** Ejemplos de herramientas de estructuración de la toma de decisión

d) Árboles de fallos y diagramas causa-efecto

Además de los citados instrumentos, podrían destacarse otras herramientas utilizadas para la estructuración del problema como el “árbol de fallos” o “fault tree” (Fishhoff et al., 1978), recogido también en la figura adjunta (B.8.b). Dicho instrumento, establece un flujo lógico de identificación de las posibles causas de un cierto fenómeno mediante una estructura arbórea. De hecho, el concepto es similar al del clásico diagrama causa-efecto (e.g. Mears, 1995), que recoge la misma estructura en un formato de espina de pez.

*La generación de alternativas o creatividad*

El uso de la capacidad creativa humana orientada a la generación de alternativas es otro de los puntos fundamentales del proceso de decisión. Sin embargo, es interesante observar un cierto descuido en la cuestión en el ámbito de la concepción positivista del problema, cuyo paradigma son los modelos normativos aquí estudiados. Como ejemplo,

baste considerar la figura B.5 (recogida en las páginas precedentes) u otras similares (Keeney & Raiffa, 1976) y la estructuración del problema que conlleva. En este tipo de esquema, que bien podría considerarse paradigmático en el contexto de los modelos normativos, la creatividad o generación de alternativas se obvia en favor de un gran énfasis en la evaluación matemática del problema. La razón de ello se encuentra, probablemente, en los fundamentos filosóficos del enfoque positivista (Apéndice A), que asume, al menos implícitamente, la unicidad de soluciones y su obtención mediante un proceso racional donde la creatividad juega un papel más bien secundario.

#### *La evaluación o valoración de alternativas*

El cuarto de los aspectos estudiados corresponde al conjunto de mecanismos utilizados para evaluar las diversas alternativas con base en la información disponible sobre el problema. Tal como se observaba anteriormente, para hacer referencia a esta fase del problema suelen utilizarse distintos términos como “evaluación”, “valoración” (León, 1993), “selección” (Jennings & Wattam, 1996), etc. De hecho, este aspecto es el que más profusión ha experimentado en el enfoque positivista, en el que se identifica con la formulación del problema. Baste pensar, por ejemplo, en los aspectos tratados en los apartados precedentes, entre los que destacan la medición de la utilidad como criterio cuantificador de la preferencia o bien el tratamiento probabilista del riesgo.

### **B.2.6. Otros desarrollos del problema entorno al paradigma positivista**

#### **B.2.6.1. La programación lineal y sus variantes**

La programación lineal es una de las metodologías que más difusión ha experimentado en el ámbito de la investigación operativa. Su aplicación se extiende desde la logística industrial hasta la construcción (Pilcher, 1992), existiendo aplicaciones en casi todas las industrias (Jennings & Wattam, 1996; Biermann et al., 1994).

En esencia, esta técnica proporciona a través de la optimización matemática de una función lineal que modeliza un criterio sobre el que se toma la decisión. A esta función se le suele denominar “función objetivo” (Jennings & Wattam, 1996). En la citada resolución matemática intervienen las restricciones del problema, modelizadas como condiciones de contorno, y que determinan el número de soluciones factibles. En la figura B.9 se recoge un sencillo ejemplo de la aplicación de esta técnica en un problema de construcción.

Un subcontratista se plantea una excavación en dos emplazamientos. Para ello dispone de una retroexcavadora y un buldózer. En el primer emplazamiento se ha excavado el estrato superior de arcilla, y en el otro debe excavarse una capa de material clasificado como tolerable, que se venderá como material de explanada. Según su experiencia puede obtener:

- 50 euros de beneficio por cada 1000 m<sup>3</sup> de arcilla
- 60 por cada 1000 m<sup>3</sup> de arenisca.

El citado industrial estima los rendimientos de los trabajos por cada 1000 m<sup>3</sup> en cada uno de los emplazamientos como:

- Emplazamiento 1: 8 horas de retroexcavadora, 4 de buldózer y 50 de mano de obra.
- Emplazamiento 2: 4 horas de retroexcavadora, 5 de buldózer y 13 de mano de obra.

Los operarios trabajan 40 horas a la semana y la maquinaria está disponible las mismas horas. Se dispone de dos maquinistas (uno para cada máquina) y 5 operarios. En estas condiciones, la pregunta que se plantea es el modo de utilizar los recursos para maximizar el beneficio económico.

Para ello se definen las variables:

$x_1$ : unidades de excavación de 1000 m<sup>3</sup> de arcilla ( $x_1 \geq 0$ )

$x_2$ : unidades de excavación de 1000 m<sup>3</sup> de terreno tolerable ( $x_2 \geq 0$ )

- Función objetivo:  $B=50x_1+60x_2$  (“B” de “beneficio”):
- Restricciones:  $8x_1+4x_2 \leq 40$  (retroexcavadora)
- $4x_1+5x_2 \leq 40$  (bulldozer)
- $50x_1+13x_2 \leq 200$  (mano de obra)

Se trata de un problema matemático clásico de optimización de una función de  $R^2$  en  $R$ . El resultado obtenido es de:

$$x_1=1,67 \text{ unidades}; \quad x_2=6,67 \text{ unidades}$$

**Figura B.9.** Ejemplo de aplicación de la programación lineal a un problema de construcción. (Pilcher, 1992)

Los citados autores resumen las hipótesis de este tipo de modelos en cuatro puntos:

- i) Proporcionalidad: Para cada unidad de producto se utiliza la misma cantidad de recursos para cada actividad. En el ejemplo anterior, esta condición se traduce en que cada 1000 m<sup>3</sup> de excavación tiene la misma proporción de utilización de maquinaria, lo cual no siempre será así, pues habrán tajos más complejos que otros.
- ii) Adicionalidad: Las actividades consideradas no deben interactuar de modo que cambien el uso total de recursos o su efectividad total. Es decir, el rendimiento de la excavación por cada 1000 m<sup>3</sup>

anteriormente considerada en el ejemplo no varía al hacer la suma del volumen total de excavación (lo cual no es estrictamente así en la realidad).

- iii) Divisibilidad: Se exige esta propiedad para poder redondear en casos donde la solución haya de ser necesariamente un número entero (por ejemplo, número de unidades de maquinaria).
- iv) Certidumbre: La aplicación de la programación lineal implica que los valores de todos los parámetros son conocidos.

La investigación operativa ha generado una extensa proliferación de desarrollos matemáticos al respecto, la mayor parte de ellos en el entorno industrial, así como programas informáticos para la resolución matemática del problema (por ejemplo Companys, 1989; Biermann et al., 1994). Así mismo cabe destacar otros instrumentos de programación, lo cuales no se tratarán por no extender en exceso esta exposición. Entre ellos destacan los procesos de Markov y la programación dinámica, cuya descripción puede consultarse, por ejemplo en la obra de Biermann et al (1994)<sup>16</sup>.

Como puede observarse en la descripción y el ejemplo anterior, la utilización de la programación lineal y sus variantes implica varias condiciones:

- la necesidad de disponer de problemas bien definidos
- la existencia de un único criterio de decisión
- un grado de incertidumbre sino inexistente, al menos muy reducido.

Es por ello que usualmente suele aplicarse a en decisiones a corto plazo, en contextos usualmente técnicos. En consecuencia, su aplicación a tomas de decisión de carácter estratégico, a largo plazo, experimenta importantes limitaciones (Jennings & Wattam, 1996).

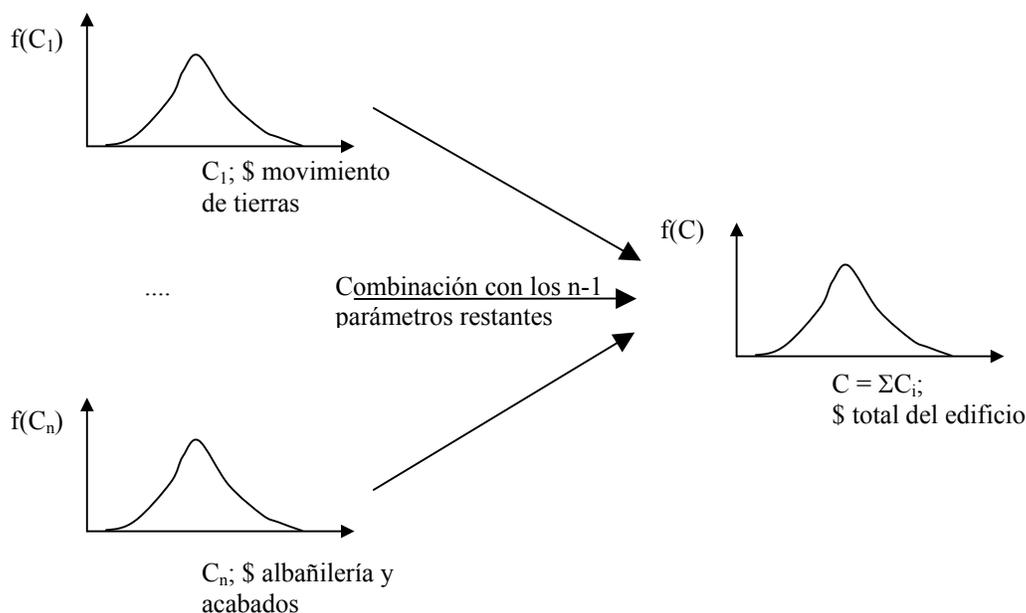
### **B.2.6.2. La simulación**

Otro de los modos de tratar la incertidumbre en la toma de decisión corresponde a las técnicas de simulación. En esencia, dichos métodos buscan obtener la distribución de probabilidad asociada a un cierto criterio de toma de decisión a partir de la combinación de los posibles resultados de cada uno de los aspectos o atributos considerados en el cálculo de ese criterio mediante sus respectivas probabilidades asociadas.

---

<sup>16</sup> Existen asimismo otras herramientas que en ocasiones se citan en la literatura de toma de decisión (Biermann et al, 1994), como el control de inventarios, la teoría de colas, el PERT o incluso los modelos o índices de evaluación financiera (VAN, TIR, etc.). Sin embargo, en esta tesis se consideran como instrumentos específicos de otros campos como la logística, la gestión de tiempos o la gestión de costes. Algunos de ellos se tratarán más adelante en capítulos posteriores de esta tesis.

Por ejemplo, si se considera el coste de construcción de un edificio como criterio de decisión, la simulación será la combinación de todos los posibles costes de las distintas unidades de obra a través de su probabilidad asociada (véase la figura B.10.)



**Figura B.10.** Esquema de un ejemplo de simulación en el cálculo de la probabilidad asociada al coste de un edificio

Para la aplicación de la simulación no es necesario conocer a priori la expresión analítica de las funciones de probabilidad asociadas a cada parámetro, si bien deben conocerse sus valores en dos puntos al menos (mediante cálculo o estimación). Obviamente, en la medida en que se disponga de más puntos en los que se conoce la probabilidad asociada, la precisión de la estimación será mayor.

Por otro lado, este esquema de cálculo puede aplicarse a cualquier parámetro, si bien requiere el conocimiento de las probabilidades asociadas, lo cual en muchas ocasiones es difícil de obtener o bien existen dudas sobre la fiabilidad de las probabilidades consideradas (considérense las críticas al enfoque probabilista descritas en apartados precedentes).

Además, la aplicación de la simulación presupone la existencia de una expresión analítica de cálculo del parámetro o criterio de decisión considerado (en el ejemplo anterior, el coste del edificio como sumatorio de las distintas unidades de obra), la cual será en ocasiones difícil o imposible de hallar. Baste considerar al respecto el tiempo de construcción, cuyo cálculo implica la relación y solape de actividades, lo cual no es expresable mediante una formulación sencilla.

Si bien en un caso como el anteriormente descrito podría plantearse el ensamblaje del algoritmo de simulación con otro que calcule el parámetro considerado, ello supone una complicación adicional del programa informático. Por otro lado, dicho ensamblaje debería ser flexible, ya que el algoritmo de cálculo del parámetro en cuestión será, en general, distinto en cada caso, lo que conlleva una dificultad práctica adicional.

Otro inconveniente asociado al uso de esta técnica es el relativo a la independencia entre las distribuciones de probabilidad consideradas. De hecho, es posible que exista una dependencia entre alguna de ellas (Goodwin & Wright, 1999). Baste considerar, por ejemplo, la dependencia entre los resultados de años sucesivos. A pesar de que se han propuesto diversos modos de simular este fenómeno (Hertz, 1979; Elion & Fawkes, 1973; Hull, 1977), no deja de constituir un problema en la práctica, sobre todo por el riesgo de no ser identificado, lo cual conllevaría a resultados erróneos.

De lo dicho anteriormente se desprende que, en la gestión de proyectos de construcción, la técnica de la simulación es aplicable principalmente en el ámbito de la estimación de costes<sup>17</sup> (Flanagan & Norman, 1993), si bien también se plantea en ocasiones su uso a un nivel más general para el cálculo del beneficio de la inversión (Goodwin & Wright, 1999).

Por otro lado, cabe observar que sobre la distribución de probabilidad calculada pueden aplicarse los criterios de decisión comúnmente utilizados en el enfoque probabilista: el valor esperado, el criterio de dominancia estocástica<sup>18</sup>, etc.

Usualmente se realizan con apoyo informático, mediante la combinación de los posibles resultados y sus probabilidades asociadas. Tal vez la técnica más extendida en este ámbito sea la denominada “simulación de Monte Carlo”.

Finalmente, podría plantearse la utilización de esta técnica para integrar las probabilidades asociadas a los diversos parámetros en el cálculo de la utilidad en un contexto multiatributo. Obviamente ello supondría que todos los parámetros considerados deberían tener un carácter marcadamente cuantitativo y debería disponerse de sus distribuciones de probabilidad asociadas, lo cual no es frecuente en la práctica<sup>19</sup>.

<sup>17</sup> Aquí se hace referencia al ámbito de la gestión de proyectos constructivos y no se consideran, por consiguiente, las posibles aplicaciones en determinados problemas físicos o tecnológicos.

<sup>18</sup> El criterio de dominancia estocástica se basa en el siguiente principio:

Una alternativa A domina estocásticamente a otra B si;  $F_A(x) > F_B(x) \quad \forall x$   
Siendo  $F_A(x)$ ,  $F_B(x)$  las funciones de probabilidad acumulada de las alternativas A y B.

<sup>19</sup> Goodwin & Wright (1999) recogen esta idea planteando la conversión del parámetro del valor actual neto (VAN) a utilidad. En este sentido, los citados autores previenen sobre las dificultades de esta integración, basadas en dos razones:

- El uso del VAN implica que la intensidad relativa de preferencia del decisor por recibir dinero en los dos años adyacentes es la misma, cualquiera que ellos sean.

### **B.2.6.3. El análisis estadístico de datos**

Los modelos de regresión, de los cuales los más utilizados son probablemente los de tipo lineal, han sido tradicionalmente un instrumento de apoyo a la toma de decisión con un grado considerable de uso.

Sin embargo, a pesar de suponer una potente herramienta, su pretendida hegemonía sobre la capacidad estimativa humana (Dawes, 1975), a raíz de los importantes estudios realizados al respecto (Meehl, 1957) está hoy en día en entredicho (Goldberg, 1965).

En determinados ámbitos como el marketing, y en ciertos sectores como los relacionados con el gran consumo, han experimentado recientemente un importante desarrollo las técnicas de tratamiento estadístico de datos como la segmentación, la reducción de dimensionalidad mediante los análisis de aglomerados de datos, el estudio de series temporales para predicciones, etc.

Sea como fuere, este tipo de modelos adolecen de similares limitaciones que la programación lineal, ya que se trata de modelizaciones de problemas muy concretos y repetitivos, y lo que es más importante, requieren un conjunto de datos históricos que en muchas ocasiones no existirán. Este factor supone un claro inconveniente para su utilización en el sector de la construcción, pues es un ámbito donde los productos tienen un carácter singular y no repetitivo. Por tanto, parecen herramientas más direccionadas a un uso en el contexto de la gestión de organizaciones o en el ámbito de la investigación, ya que en el caso de los proyectos constructivos sólo puntualmente aportarán una información interesante sobre algún aspecto de la obra. Por ello, este tipo de instrumentos es aplicable más bien en aspectos parciales como el control, la aportación de información para la planificación, etc.

- 
- Por otro lado, si se considera la preferencia relativa del decisor por cantidades de dinero entre el mismo par de años puede apreciarse que el método del VAN asume un ratio constante en esos años.
  -

De estas dificultades se deduce que deben analizarse con cuidado los presupuestos del citado criterio antes de plantear una integración de este tipo, o al menos se debe ser consciente de sus limitaciones.

### **B.3. LA CRISIS DEL PARADIGMA POSITIVISTA Y LA BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS**

#### **B.3.1. Las críticas al racionalismo neoclásico**

##### **B.3.1.1. Las críticas a la teoría de la utilidad**

A pesar del reconocimiento del valor de la aportación de la teoría de la utilidad, no se puede ser ajeno a las controversias generadas entorno a esta teoría clásica, por lo que se analizarán las críticas y limitaciones identificadas de modo que sirvan de punto de partida para esta investigación.

Tal vez la principal objeción frente a la citada teoría es la relativa a la medición del concepto de utilidad. En los intentos de implementación práctica se encontraron considerables dificultades en la estimación de las preferencias, que hacían ardua la construcción de la función de la utilidad, y llevaban a plantear dudas considerables sobre su correspondencia con las preferencias reales del decisor. Por ejemplo, Tocher (1977) llega a afirmar al respecto que el intento de estimación de las utilidades saca al decisor de la realidad y le sitúa en un mundo ideal.

Por otro lado, aparecen también dudas sobre el valor práctico de este tipo de estimación, es decir, ¿qué aporta desde el punto de vista práctico el esfuerzo de construir la función de utilidad?. En relación con esta idea, Von Winterfeldt & Edwards (1986) arguyen que, si las utilidades pudiesen medirse sólo de forma aproximada no siempre valdría la pena el esfuerzo de estimarlas mediante un parámetro cuantitativo, ya que podrían estimarse de forma cualitativa de forma más sencilla, y la aproximación sería suficientemente buena<sup>20</sup>.

De hecho, el propio Raiffa (1982), a la sazón uno de los máximos exponentes del desarrollo de la teoría de la utilidad, niega la validez teórica de aplicar la puntuación en un contexto de incertidumbre para estimar el valor de un cierto elemento (a modo de valor esperado). Sin embargo, aduce que es “un error relativamente benigno en la práctica”.

En cualquier caso, tal como indican Goodwin & Wright (1999), es importante hacer hincapié en que la importancia de estas críticas se relativiza si se tiene en cuenta que la teoría de la utilidad no pretende describir la manera en que la persona humana toma la decisión, lo cual es imposible en un sentido absoluto, sino que es una teoría normativa<sup>21</sup>, que indica lo que el decisor debería hacer en caso de aceptar los axiomas o hipótesis de partida de la misma.

---

<sup>20</sup> Recuérdese al respecto que estos autores adoptan la distinción entre utilidad y valor, aplicando en el primer caso una medición mediante parámetros cuantitativos y una estimación cualitativa (mediante puntuación) en el segundo caso. Como consecuencia, a los parámetros cuantitativos podría asociárseles una probabilidad y a los cualitativos no, lo que conlleva una aplicación del concepto de utilidad a la toma de decisión en condiciones de incertidumbre y el de valor al caso determinista.

<sup>21</sup> Recuérdese la definición de los “modelos normativos de toma de decisión” recogida en el apartado B.2.5.

Por consiguiente, si se considera que la citada teoría no pretende ser más que una ayuda para la toma de decisión, muchas de las críticas al respecto quedarían mitigadas, ya que podría achacárseles una cierta descontextualización en su crítica.

Finalmente, cabría observar que la dificultad de aplicación o el error humano en el juicio o estimación no invalidan la aportación desde un punto de vista teórico, aunque lógicamente limitan el alcance de su implementación práctica.

### **B.3.1.2. Las críticas al criterio del valor esperado**

El criterio del valor esperado ha sido, tal vez, uno de los puntos más controvertidos del enfoque positivista implícito en el tratamiento clásico de la incertidumbre. Históricamente se han identificado importantes limitaciones respecto a este razonamiento, entre las que destacan las paradojas de St. Petersburg (atribuida a Bernouilli), Allais (1953) y Ellsberg (1961), que serán analizadas a continuación.

#### *La paradoja de S. Petersburgo*

La primera objeción importante al criterio del valor esperado data ya del siglo XVIII y se atribuye a Bernouilli (1700-1782), quien demostró las limitaciones de este enfoque mediante la denominada “paradoja de S. Petersburgo”.

Bernouilli (1738) planteó un problema que consistía en que un individuo lanzase una moneda al azar hasta que cayese en el lado de la cara. El número de lanzamientos necesarios para conseguir obtener el lado de la cara determinaría el premio, que, en general, sería definido como  $2^n$  monedas, siendo  $n$  el número de lanzamientos realizado. Es decir, si apareciese la cara en el primer lanzamiento obtendría 2 monedas, 4 en el segundo y así sucesivamente.

Asumiendo que la probabilidad asociada a cada una de las dos posibilidades de cada lanzamiento (cara o cruz) es de 0,5, el valor esperado de un caso genérico de  $n$  lanzamientos sería  $2^n \cdot 0,5^n$ , por lo que el valor esperado total correspondería a la serie,

$$\sum_{n=1}^{\infty} 2^n \cdot 0,5^n = \infty \quad (\text{B.14.})$$

cuyo valor es infinito, lo cual no corresponde a la realidad, ya que si un hipotético jugador pagase un cierto número de monedas por participar (por ejemplo, 10), obviamente no es realista pensar que espera obtener un número infinito de monedas como premio. Para resolver esta paradoja Bernouilli distinguió entre la “esperanza matemática” y la “esperanza moral”, siendo esta última la que guiaría el comportamiento del hipotético decisor.





### B.3.1.3. Las dificultades asociadas a la estimación de la probabilidad

El enfoque probabilista implica la existencia de una probabilidad asociada a cada uno de los posibles resultados. Esta condición, aparentemente sencilla, no lo es en absoluto si se considera el conjunto de dificultades que desde el punto de vista práctico conlleva. Considerando los modos de estimar la probabilidad<sup>22</sup>, cabe percatarse de dos obstáculos principales:

- i) La disponibilidad de medios y la factibilidad de los experimentos o mediciones necesarias para determinar la probabilidad de un suceso

Al hablar de las dificultades de obtención de las probabilidades asociadas a un cierto parámetro, no sólo cabe pensar en la estimación subjetiva de las mismas, sino que la medición experimental u objetiva de la probabilidad encuentra también ciertas dificultades prácticas;

- En primer lugar, cabría plantearse la representatividad de los experimentos realizados o la fiabilidad de los datos históricos disponibles.
- Por otro lado, la medición de la probabilidad conlleva costes y recursos no justificables en muchos casos.
- Además, muchos de los aspectos analizados tienen poca o ninguna repetitividad, o bien su probabilidad depende de innumerables factores, lo cual hace inviable en muchos casos dicha medición.

- ii) Las limitaciones de la capacidad estimativa humana, que hacen dudar de la validez de las probabilidades subjetivas estimadas por el/los decisor(es) y, por tanto, del resultado final obtenido.

Si la medición objetiva de la probabilidad supone ya ciertos problemas de considerable entidad, mucho más crítica es su estimación subjetiva, dado que la

---

<sup>22</sup> Pueden identificarse tres modos de estimar la probabilidad de un suceso (Goodwin & Wright, 1999):

a) En primer lugar, la aproximación clásica al problema propone un cálculo de la probabilidad como cociente entre el número de resultados que representan la ocurrencia del suceso (medido de la forma adecuada en cada caso), y el número total de posibles resultados.

b) Por otro lado, la probabilidad puede medirse mediante la frecuencia relativa del suceso, entendida como la proporción de veces que se da el suceso a largo plazo, en hipótesis de estabilidad. Esta probabilidad puede estimarse mediante la repetición de un experimento o mediante el análisis de la información disponible sobre el suceso.

c) Finalmente, en ausencia de información o al juzgar sucesos únicos, la probabilidad puede estimarse de forma subjetiva como un grado de confianza en la ocurrencia del suceso.

dependencia de la percepción de cada sujeto le imprime un carácter mucho más variable y una fiabilidad más discutible. Entre las dificultades históricamente identificadas en la estimación subjetiva de la probabilidad se han escogido las comentadas a continuación, con el objetivo de dejar constancia del carácter controvertido de la cuestión.

#### *Los estudios psicológicos y las dificultades en la estimación de la probabilidad*

En primer lugar, cabe identificar el hecho de que en ocasiones se percibe una probabilidad distinta de la real de ciertos sucesos por influencia de la prensa o por el eco que adquieren en la sociedad o en un ámbito determinado. Baste pensar, por ejemplo, en la percepción de la probabilidad de las causas de mortalidad (Lichtenstein et al, 1978).

En este sentido, Casteleiro (1986) pone de manifiesto, en el entorno de la ingeniería civil, las diferencias entre la percepción social y medición del riesgo identificadas por Lee (1981) y Slovic et al (1981), basándose en los resultados obtenidos por Inglés (1979). Casteleiro (1986) identifica además algunas de sus causas:

- individualidad de la amenaza
- voluntariedad del riesgo
- familiaridad con el riesgo
- tamaño de la catástrofe
- información sesgada de los medios de comunicación
- cercanía social del riesgo
- evaluación subjetiva de los daños
- visión de futuro
- temor a lo desconocido

Además, tal como demostraron Chapman & Chapman (1969), puede darse un error en la estimación de correlaciones entre sucesos, cuya probabilidad condicionada no se corresponde con la real por prejuicios o preconcepciones. Dichos prejuicios pueden estar motivados por factores de tipo social o por una excesiva extrapolación de la experiencia que aporta una visión parcial o sesgada de la realidad.

Por otro lado, en la estimación de probabilidades pueden darse distorsiones derivadas de obviar la información estadística disponible, basando el juicio en la percepción o en la descripción aportada del suceso o realidad considerada (Tversky & Kahneman, 1974; Tversky & Kahneman, 1982).

Otra limitación de la capacidad estimativa humana hace referencia a la probabilidad asociada con secuencias de sucesos, es decir, la percepción subjetiva de la probabilidad de ciertas series puede diferir de la realidad. Baste pensar en las posibles series de resultados al tirar una moneda un número determinado de veces; a pesar de que la probabilidad de todas las posibles combinaciones de resultados es la misma, subjetivamente se estima que la probabilidad de que, por ejemplo, aparezcan tres caras es menor que la que aparezcan dos

caras y una cruz. Este fenómeno se agudiza si se tiene en cuenta el orden de aparición de los resultados (Goodwin & Wright, 1999).

Por otro lado, si, en una secuencia de resultados, ha aparecido un resultado varias veces, puede haber una tendencia a sobrevalorar o subestimar la probabilidad de ocurrencia, cuando no hay ningún motivo para ello. En el ejemplo anterior de la moneda, si han aparecido ya dos caras, la tendencia será estimar que hay una mayor probabilidad de que caiga en el lado de la cruz, cuando ambos sucesos son igualmente probables (Goodwin & Wright, 1999).

Kahneman et al. (1982) distinguen también el fenómeno según el cual se espera que sucesos extremos den lugar a otros extremos, cuando la tendencia real es hacia el punto medio. Por ejemplo, un buen o mal resultado de un equipo de fútbol lleva a pensar muchas veces en otro similar, por el estado de euforia o desánimo que generan. Sin embargo, la tendencia real puede ser hacia un punto medio por la reacción o presunción que producen.

Además, los mismo autores (Tversky & Kahneman, 1982) identifican otro tipo de error en la estimación de la probabilidad según el cual en ocasiones se juzga más probable la concurrencia de sucesos que cada uno de ellos por separado, lo cual es imposible. La causa de este error es la sobrevaloración de la descripción o percepción del suceso por encima de la lógica. Paralelamente, se tiende a infraestimar las probabilidades asociadas de sucesos disyuntivos, de manera que se llega a resultados injustificadamente optimistas o pesimistas, según el caso.

Por otro lado, Kahneman & Tversky (1979) identifican también un efecto de anclaje en la estimación de la probabilidad, que consiste en que el valor estimado propuesto ronda un valor a priori (de anclaje) que el decisor inconscientemente tiene en su mente por la influencia de factores ambientales o similares. Este fenómeno constituye un problema en la estimación de probabilidades y otros parámetros, ya que las predicciones adolecen de la predisposición a dar un valor semejante a uno conocido sin el ajuste necesario en función de condiciones futuras u otros factores de variación. Por tanto, según el esquema anclaje-ajuste de los citados autores, puede cometerse un error al ajustar o al fijar un valor de anclaje. Este fenómeno se traduce, por ejemplo, en la consideración de rangos de variación demasiado estrechos (Lichtenstein et al, 1982) por no tener en cuenta determinados factores de influencia, lo que lleva a una sobreconfianza que puede llegar a ser temeraria. Por otro lado, los valores medios de anclaje pueden ser incorrectos por ideas preconcebidas erróneas.

Otros autores (Plous, 1993; Hogarth & Makridakis, 1981) identifican además otros tipos de predisposición que pueden llevar a resultados incorrectos, como el asignar una mayor probabilidad a los sucesos que más se desean o una predisposición que conduce a ignorar relaciones entre variables por la falta de expectativa entorno a la existencia de dicha relación.

### *Las críticas a los estudios psicológicos*

Para acabar de relativizar la cuestión, cabe identificar también una serie de críticas a los estudios empíricos psicológicos realizados sobre el comportamiento humano, que han conducido a la relativización de los resultados de los estudios y críticas anteriormente citados, y han ayudado también a corroborar aún más lo complejo de la cuestión.

Por un lado, se aduce que los temas de estudio pueden no ser representativos para los decisores (Beach et al., 1987), y que los trabajos de laboratorios psicológicos pueden no adecuarse a las características de los problemas del mundo real (Einhorn & Hogarth, 1980; Payne 1982; Payne et al. 1993). Se argumenta también que las tareas pueden ser mal entendidas por los sujetos, o bien estos pueden estar poco motivados (Beach et al., 1987). Estos últimos autores identifican también lo que denominan “citation bias” (tendencia a citar), según el cual los estudios al respecto presentan una tendencia a citar trabajos anteriores sin abordar nuevos experimentos. Para demostrarlo, el citado autor identifica una proporción reducida de estudios empíricos al respecto en relación con el número de artículos, de los cuales menos de la mitad llegaban a un resultado satisfactorio.

Por otro lado, Goodwin & Wright (1999) identifican el hecho de que tan sólo una pequeña parte de la investigación al respecto se ha realizado sobre hechos reales (como por ejemplo, la de Murphy et al., 1985). Además, inciden en el hecho de que se han dado buenos resultados en la predicción de ciertos sucesos de la vida real, lo que lleva a pensar que la capacidad estimativa humana no es tan débil como se deduce de los estudios anteriores. Estos mismos autores, proponen la utilización de esta capacidad humana para estimar aspectos concretos (ventas, etc.) y no tanto probabilidades. Finalmente, basándose en los estudios de Gigerenzer (1994) y Sniezek & Buckley (1991), llaman la atención sobre el hecho de que, según ellos, el ser humano piensa en claves de *frecuencias*, no en *probabilidades*, dado que el primer término hace referencia a una colección de sucesos históricos repetidos, mientras que el segundo puede aplicarse a casos únicos.

En definitiva, aunque relativizadas, las objeciones recogidas anteriormente y otras posibles llevan a sospechar que la probabilidad estimada de ciertos riesgos o sucesos es más que discutible. A modo de ejemplo, baste pensar, en el caso de la construcción, las dificultades asociadas a la asignación de una probabilidad a sucesos como retrasos de suministradores, variaciones de precios, etc. Obviamente la probabilidad de estos aspectos es impredecible, ya que dependerá de las características concretas de cada proyecto, y en caso de pretender estimarlas, será necesario trabajar con márgenes de error tan grandes que harán replantear la utilidad de tratar el problema a través de un enfoque probabilístico.

#### **B.3.1.4. Las críticas a la teoría de la utilidad multiatributo**

Además de las críticas anteriores, la teoría de la utilidad multiatributo propuesta por Keeney & Raiffa (1976) también fue objeto de no pocas objeciones, provenientes más bien de un análisis de la propuesta desde un punto de vista práctico.

Baste pensar, por ejemplo, en la cantidad de esfuerzo necesario para llevar a cabo la medición según la formulación propuesta, lo cual se convierte en algo crítico en caso de que exista dependencia preferencial.<sup>23</sup> Es indudable, por tanto, que esta aproximación al problema requerirá una cantidad de tiempo y esfuerzo sólo justificables en problemas que exijan una alta precisión en el juicio.

Por otro lado, la complejidad intrínseca de la teoría en cuestión provoca una cierta falta de transparencia cuando los hipotéticos decisores no están familiarizados con el citado aparato matemático, lo cual puede generar desconfianza hacia el resultado obtenido.

Además, también cabe identificar puntos débiles de esta formulación desde un punto de vista teórico, en lo relativo a la distorsión de las preferencias del decisor que conlleva la acumulación de desviaciones en la estimación de pesos de los diversos atributos, funciones de utilidad o probabilidades.

#### **B.3.1.5. La racionalidad limitada**

Las anteriores críticas desembocaron en lo que se ha denominado “racionalidad limitada” (bounded rationality), según el término original de Simon (1955, 1957, 1979), donde se puso en tela de juicio la validez de los métodos cuantitativos o normativos de toma de decisión, no sólo desde la perspectiva de la praxis sino en su mismo fundamento.

Básicamente, esta doctrina niega los tres principios básicos de la racionalidad neoclásica (Edwards, 1954); información completa, sensibilidad infinita y racionalidad, lo cual supone la consideración de aspectos relativos al comportamiento humano y a la práctica no contemplados en las herramientas propuestas hasta entonces.

Hoy en día, dicho término tiene un cariz no tan crítico, de manera que implica la aceptación del enfoque racionalista de manera integrada, como herramienta de apoyo metodológico, y sin perder de vista sus limitaciones.

---

<sup>23</sup> En caso de que no exista independencia preferencial (en versión original “utility independence”), la expresión de la utilidad multiatributo (recuérdese lo comentado en el apartado B.3) no puede simplificarse, de manera que sería necesario utilizar una formulación tremendamente farragosa.

### B.3.2. La búsqueda de alternativas

#### B.3.2.1. La irrupción de la psicología y los modelos descriptivos

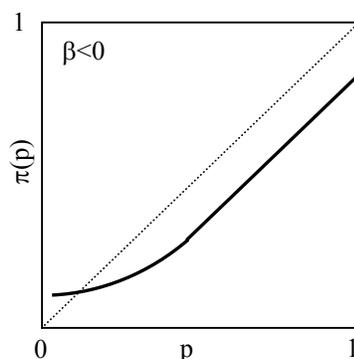
Como consecuencia de esta identificación de los límites de la racionalidad humana, se abogó por la exploración de nuevas vías de desarrollo, recurriendo a la psicología para intentar articular una explicación del comportamiento humano en lo relativo a la toma de decisión. Sin embargo, las aportaciones fruto del enfoque psicológico del problema suponen un avance reducido al campo teórico, con repercusiones prácticas únicamente indirectas. De ahí que se les denominase con el calificativo de “modelos descriptivos”, dado que no aportan una herramienta práctica con la que abordar el problema, sino que explican el porqué del comportamiento humano, dando respuesta a muchas de las objeciones anteriormente descritas y descubriendo también otras limitaciones.

La esencia y punto común de estos enfoques es el descubrimiento e intento de modelización matemática de aspectos de tipo psicológico, principalmente en la estimación de la probabilidad. Es interesante comentar al respecto que no se observa todavía un abandono del intento cuantificador ni se desiste del intento de modelización matemática.

#### *La sobrevaloración y subestimación de la probabilidad*

Uno de los modelos descriptivos de más relevancia corresponde a la denominada “teoría de las perspectivas” (“Prospect Theory”) de Kahnemann & Tversky (1979). Esta aportación supuso un importante avance en la identificación de la influencia de aspectos de comportamiento humano o actitud del decisor en la estimación de la utilidad o valor de las diversas alternativas de decisión, a la vez que ayudó a la comprensión de las limitaciones relativas a la estimación de las probabilidades asociadas

Estos autores identifican y demuestran experimentalmente el fenómeno según el cual el ser humano tiende a sobrevalorar las bajas probabilidades y minusvalorar las altas. Para describir esta idea, proponen una modelización de la relación entre la probabilidad estimada  $\pi(p)$  y la probabilidad real ( $p$ ). La forma de la función  $\pi(p)$  se muestra en la figura B.11.



**Figura B.11.** Tendencia en la estimación de la probabilidad según Kahneman & Tversky (1979)

En la figura anterior se observa la hipótesis de los citados autores, que contrastan mediante experimentación, según la cual los valores de la probabilidad estimada  $\pi(p)$  son superiores a los de la probabilidad real  $p$  cuando esta es pequeña y viceversa

Con base en este fenómeno, proponen una formulación descriptiva que supone un paso hacia la generalización de la utilidad esperada de Von Neumann & Morgenstern (1947)<sup>24</sup>. Para ello distinguen dos casos a los que denominan perspectivas “regulares” e “irregulares”.

i) “perspectivas regulares” ( $p+q < 1$  ;  $x \geq 0 \geq y$  ó bien  $x \leq 0 \leq y$ ).

$$V(x, p; y, q) = \pi(p) \cdot v(x) + \pi(q) \cdot v(y) \quad (\text{B.15.})$$

donde  $p$  y  $q$  son las probabilidades asociadas a los dos posibles resultados del suceso,  $x$  e  $y$  respectivamente. Por otro lado, cabe observar que Kahnemann & Tversky (1979) emplean la notación  $v(\cdot)$ , que representa el valor para el decisor, en vez de la función de utilidad  $u(\cdot)$ . Ello es consecuencia de que su aportación no se encuadra en la teoría de la utilidad, y por consiguiente no hace la distinción entre “valor” y “utilidad” a la que se hacía referencia en apartados anteriores.

ii) perspectivas “irregulares”, es decir, las que no cumplen las condiciones anteriores,

$$V(x, p; y, q) = v(x) + \pi(p) \cdot [v(x) - v(y)] \quad (\text{B.16.})$$

### *La ambigüedad en la toma de decisiones*

Otra de las grandes aportaciones relativas a la descripción de la estimación de la probabilidad fue la introducción del concepto de “ambigüedad”, tratado y modelizado en profundidad por Einhorn & Hogarth (1985 y 1986), mediante la expresión,

$$S(p) = p + k \quad (\text{B.17.})$$

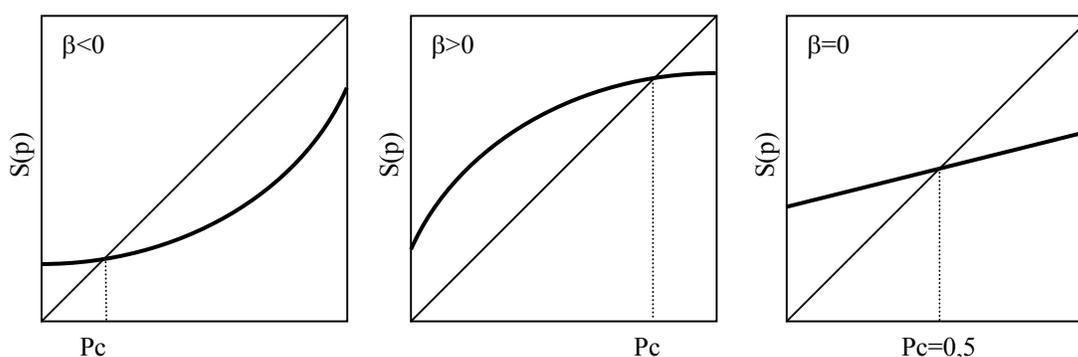
$$k = \theta \cdot (1 - p - p^\beta) \quad (\text{B.18.})$$

donde  $S(p)$  es la función que describe la probabilidad estimada,  $p$  es un valor de “anclaje” al que se ha hecho referencia en apartados precedentes<sup>25</sup> y que en definitiva es una probabilidad base a partir de la cual el decisor ajusta su estimación. Se introduce así mismo un factor  $k$ , que simula dicho ajuste y que constituye la modelización matemática del concepto de ambigüedad, expresado como una variación del valor inicial de anclaje. Por otro lado, es interesante observar que en este coeficiente de ambigüedad se identifica una dependencia respecto a la probabilidad estimada  $p$ . Se introducen asimismo dos factores de

<sup>24</sup> Véase la expresión B.1

<sup>25</sup> Recuérdese lo descrito en el apartado B.3.1.3.

ajuste  $\theta$  y  $\beta$ , que representan, respectivamente, la “cantidad de ambigüedad” percibida y la “actitud del decisor” hacia la ambigüedad, cuyo signo determina la dirección del ajuste, tal como se representa en la figura B.12. Según se observa en la citada figura, el signo negativo de  $\beta$  implica que la probabilidad estimada es menor que la real en la mayoría de los casos, produciéndose un efecto contrario cuando  $\beta$  adopta valores positivos y un caso intermedio en el caso de que este parámetro sea nulo. En la primera situación, el sujeto tendría una actitud conservadora, manteniéndose por debajo de la probabilidad real y acercándose a ella ( $p_c$  o probabilidad crítica) en valores pequeños de  $p$ . Los otros dos casos corresponden a la actitud contraria y a la intermedia.



**Figura B.12.** Comportamiento de la función de ambigüedad respecto a los valores de  $\beta$ , que representa la actitud del decisor ante la ambigüedad.

Siguiendo la línea de la “teoría de las perspectivas” y del “modelo de ambigüedad” anteriormente citados, Einhorn & Hogarth (1990) introducen lo que denominan “Venture Theory” que en esta tesis se traduce libremente como “teoría del riesgo”, y donde consideran la estructuración esencial básica de los pesos constatando que su dependencia respecto a su función de utilidad aneja. La formulación que introducen es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 w(p) &= p + k & (B.19.) \\
 k &= k_g - k_s \\
 k_g &= f(\sigma, \theta, p, v(x)) \\
 k_s &= g(\sigma, \theta, p, v(x))
 \end{aligned}$$

donde  $w(p)$  es el peso anejo a la utilidad correspondiente, que depende de la probabilidad  $p$  a la que se denomina “anclaje” y de un factor corrector  $k$  que incorpora la ambigüedad, y a su vez es una integración de otros dos factores,  $k_g$  y  $k_s$ , que hacen referencia a valores de probabilidad mayores y menores respectivamente que el valor de anclaje.

Dichos factores dependen de lo que se denomina “resultado de incertidumbre” ( $\sigma$ ) y “ambigüedad percibida” ( $\theta$ ), si bien los citados autores eluden su formulación y los dejan de hecho indefinidos. La razón de ello es una vez más que el propósito de la aportación es meramente descriptivo, por lo que en este caso únicamente importa constatar la

dependencia respecto a los citados factores de los coeficientes  $k_g$  y  $k_s$ . La posible forma de esta función la relegan a posteriores investigaciones.

En cualquier caso, es interesante observar que la aportación de Einhorn & Hogarth (1990) supone un intento de explicación de la dependencia entre la estimación de probabilidades y pesos con el valor del parámetro  $x$  estimado<sup>26</sup>, tal como se muestra en la expresión B.19.

#### *Los conceptos de “desacuerdo” y “arrepentimiento”*

Además de este concepto de “ambigüedad”, se introducen también otros conceptos como el de “arrepentimiento” (Bell, 1982) o “desacuerdo” (Bell, 1985). Sin embargo, no se logra articular una implementación práctica coherente con la profundidad y complejidad teórica de estos conceptos. A pesar de surgir algunos intentos<sup>27</sup>, puede afirmarse que las aportaciones se restringen más bien al plano teórico o descriptivo, de modo que no trascienden a la práctica sino a través de consideraciones de tipo cualitativo.

#### *Otros factores psicológicos de la toma de decisión*

El estudio de la vertiente psicológica de la toma de decisión incluye otros aspectos como la personalidad, la motivación, la experiencia previa, los sentimientos y emociones y las habilidades y aptitudes (Jennings & Wattam, 1996). Sin embargo, el tratamiento pormenorizado de estas cuestiones excede claramente del propósito de este análisis, por lo que únicamente se citan como elementos integrantes del problema.

#### *Las características de los modelos descriptivos*

Para finalizar, cabría realizar un somero análisis, semejante al realizado entorno a los modelos normativos en el apartado B.2.5, entorno a este otro tipo de aportaciones a la teoría de la toma de decisión. Siguiendo el esquema marcado en el citado apartado podría concluirse que los modelos descriptivos:

- Tienen una finalidad exclusivamente teórica, por lo que eluden toda propuesta entorno a la cuestión del proceso metodológico de la toma de decisión.
- No intentan introducir ninguna nueva propuesta respecto al análisis y estructuración del problema ni en lo relativo a la generación de alternativas
- No buscan ser una herramienta de evaluación sino dar una explicación del comportamiento humano.

---

<sup>26</sup> Recuérdese al respecto el concepto de “pesos fluctuantes” de Watson & Buede (1987), descrito en el apartado B.2.

<sup>27</sup> Por ejemplo, Bell (1982) propone articular de forma práctica el concepto de arrepentimiento, como un criterio más en la formulación de la teoría de la utilidad multiatributo

### B.3.2.2. Las variantes simplificadas de la teoría de la utilidad

Las dificultades prácticas asociadas a la teoría de la utilidad multiatributo, descritas en el apartado B.3.1.4, dieron lugar a la introducción de variantes simplificadas cuyo objetivo era adaptarla a la realidad práctica y superar las críticas asociadas al enfoque neoclásico. Entre ellas, destaca la denominada “teoría de la utilidad multiatributo simplificada” (Edwards, 1977), abreviada mediante el acrónimo SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique). Su diferencia esencial respecto a la teoría de la utilidad multiatributo anteriormente descrita es su mayor simplicidad derivada del tratamiento por puntuación de los diversos atributos.

Según la descripción del mismo Edwards (1977) y posterior interpretación por parte de otros autores (Goodwin & Wright, 1999; Watson & Buede, 1987), la citada metodología consta de un proceso estructurado en diez pasos, en el cual se calcula la utilidad de cada alternativa mediante la expresión,

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j u_{ij} \quad (\text{B.20.})$$

Donde  $U_i$  es la utilidad estimada de la alternativa “i” respecto a un cierto número de criterios (n), siendo  $u_{ij}$  la utilidad estimada de la alternativa “i” respecto al criterio “j” y  $w_j$  los pesos de los diversos criterios. El parámetro de decisión se establece a través de un ratio definido como  $U_i/C_i$ , siendo  $C_i$  el coste de la alternativa “i”. Los valores de estas variables se estiman mediante votación en una escala del 1 al 10. Para el cálculo de las utilidades  $u_{ij}$ , el SMART contempla la posibilidad de construir funciones de utilidad, si bien de forma más simplificada y flexible que la propuesta por la utilidad clásica.

Según admite su mismo autor, el método SMART cede la elegancia de otras metodologías desarrolladas entorno al concepto de utilidad (Keeney & Raiffa, 1976), con el objetivo de ganar en simplicidad y conseguir así una mayor difusión práctica. Como curiosidad, es interesante observar que las siglas de la metodología forman una palabra inglesa, SMART, uno de cuyos significados es precisamente “elegante”. Quizá el autor se refería a otra de las acepciones de dicha palabra, cuyo sentido se aproxima al adjetivo “inteligente”, o tal vez se trate de una simple coincidencia, pero en cualquier caso no deja de ser paradójico que el nombre coincida precisamente con uno de sus puntos débiles.

Por su mayor simplicidad, la metodología SMART supone un claro avance en la vertiente práctica de la teoría de la utilidad, dado que permite tratar de manera sencilla y rápida aspectos que serían muy arduos de abordar mediante el uso de las funciones de utilidad tradicionales. Es también un modo natural y nada artificioso de estimación, articulado mediante lo que, por ahora, es la manera más extendida de asignar un valor numérico a algo de naturaleza cualitativa; la puntuación.

Edwards & Barron (1994) sugirieron posteriormente una forma aún más simplificada de la anterior metodología a la que denominaron SMARTER (SMART Exploiting Ranks),

en referencia a su origen y logrando un juego de palabras con el sentido inglés del acrónimo resultante. Dicha propuesta difiere de su predecesor en dos puntos:

- i) las funciones de utilidad se toman invariablemente como lineales
- ii) propone el cálculo de los pesos desde la peor hasta la mejor posición

Este último aspecto simplifica el proceso del cálculo de los pesos al evitar la cuantificación del decisor mediante una clasificación o ranking a través del “centroide de clasificación”<sup>28</sup>, para su transformación numérica. A este respecto, Edwards & Barron (1994) aseguran, mediante comprobación empírica, que el valor de los nuevos pesos calculados mediante el método SMARTER concuerda en un 75-87 % con los pesos estimados mediante la definición original del SMART.

En cualquier caso, y eludiendo una discusión teórica acerca de ambas metodologías que alargaría innecesariamente esta revisión, cabe distinguir en ambas su carácter simplificado, orientado a una más sencilla y realista implementación práctica.

### B.3.2.3. El Proceso Analítico de Jerarquización (AHP)

En esencia<sup>29</sup>, este método de toma de decisión, propuesto por Saaty (1980) a principios de la década de los ochenta, constituye una metodología analítica de evaluación numérica de las alternativas de toma de decisión. Se basa en una valoración sistemática de un conjunto de alternativas de decisión. Dicho proceso se articula a través de la construcción de una matriz de decisión donde quedan recogidas las puntuaciones que el decisor realiza mediante la comparación por pares de las alternativas previamente identificadas, y cuya importancia relativa se quiere evaluar. Esta asignación de valores numéricos se lleva a cabo mediante la utilización de una escala de números enteros con un rango entre 1 y 9. La citada matriz obtenida será cuadrada (de  $n \times n$ , siendo  $n$  el número de alternativas consideradas), y cumplirá la siguiente relación, que se deduce del carácter comparativo de sus componentes:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (\text{B.21.})$$

siendo  $a_{ij}$  la componente  $ij$  de la citada matriz, que representa el cociente entre la importancia relativa de la alternativa  $i$  y la alternativa  $j$  según la citada escala del 1 al 9. De ello se deduce que los componentes de la diagonal de la matriz serán lógicamente la unidad, dado que son el resultado de la comparación de una alternativa con ella misma.

<sup>28</sup> En versión original se denomina “rank order centroid” (ROC)

<sup>29</sup> En la presente tesis se ofrece una descripción sintética de esta técnica, de modo que sirva de base para la discusión. Para mayor detalle puede consultarse el trabajo de Blanca et al. (2001), donde aparece una descripción pormenorizada y diversos ejemplos de aplicación en el ámbito de la construcción.

A partir de esta matriz Saaty (1980) demuestra que los valores de la importancia relativa de las diversas alternativas corresponden a las componentes del vector propio asociado al único valor propio no nulo de una matriz de decisión, al que denomina “vector de prioridades”. Además, propone un coeficiente o ratio de consistencia (C.R. o “Consistency Ratio”) para evaluar la coherencia del juicio emitido y, por tanto, de la toma de decisión, lo cual es uno de los puntos de mayor interés, originalidad y compacidad metodológica de la aportación del citado autor. La formulación de dicho índice la plantea a través de la expresión

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (B.22.)$$

donde C.I. es un “índice de consistencia” (consistency index) de la evaluación que define como

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (B.23.)$$

donde  $\lambda_{max}$  es el máximo valor propio de la matriz y n su orden. Por otro lado, en la definición del índice C.R. recogida en la expresión B.22 se introduce también un índice de aleatoriedad (random index o R.I.), que se describe como el máximo índice de consistencia de una matriz de decisión generada de forma aleatoria. Para ello, Saaty (1980) realiza el estudio de todas las posibilidades de variación que resume en la tabla B.2:

Tamaño de la matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de consistencia aleatoria (R.I.)	0	0	B.58	B.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

**Tabla B.2.** Índices de consistencia aleatoria de las matrices de decisión según su orden

La justificación de la definición del índice C.R. se extrae del análisis de los valores propios de la matriz de decisión anteriormente descrita. A este respecto, Saaty (1980) demuestra que en un análisis comparativo de las alternativas perfectamente consistente, el valor propio máximo distinto de cero ( $\lambda_{max}$ ) coincide con el número de alternativas consideradas o con el orden n (que no el rango) de la matriz de decisión, cuyo rango sería 1, y por lo tanto tendría un único valor propio distinto de cero.

$$n = \lambda_{max} \quad (B.24.)$$

Para demostrarlo, considera los componentes de la matriz de decisión ( $a_{ij}$ ) como el cociente entre los pesos o porcentajes de importancia relativa de las alternativas consideradas ( $w_i$ ). Es decir,

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (B.25.)$$

De esta demostración se deduce también que el vector propio asociado al único valor propio no nulo de una matriz de decisión ideal sería precisamente el vector de pesos de las diferentes alternativas, es decir, un vector cuyas componentes fueran los citados pesos ( $w_i$ ).

De la definición del índice C.R. se extrae que cuanto más pequeño sea C.I., más coherente será la evaluación realizada. Es interesante observar al respecto que, según esto, el máximo valor propio de una matriz no puede ser inferior a  $n$  y por tanto el valor de C.I. será siempre igual o superior a cero. Además, Saaty (1980) extrae una recomendación para los valores del C.R. aceptables, fijando una frontera del 10% (o un valor de C.R. de 0,10) para calificar de buena una estimación, de modo que serían aceptables resultados hasta un 15% de tolerancia (C.R.=0,15).

Para agilizar el proceso de cálculo, Saaty (1980) propone un método simplificado, extraído y demostrado a partir de la definición de la matriz de decisión, mediante el cual pueden calcularse los componentes del vector de prioridades ( $w_i$ ) como una media geométrica de las componentes de las filas de la matriz de decisión, posteriormente normalizada con base en el resto de componentes, de manera que sumen la unidad. Por otro lado, el máximo valor propio asociado a dicha matriz ( $\lambda_{max}$ ), se calcula como el producto de la suma de las columnas de la matriz de decisión por el componente correspondiente del vector de prioridades, de acuerdo con la expresión B.26.

$$w_i^* = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}; \quad w_i = \frac{w_i^*}{\sum_{i=1}^n w_i^*} \quad (B.26.)$$

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^n a_{ij} \right) \cdot w_j$$

En definitiva, la originalidad y rigor matemático de esta metodología quedan fuera de toda duda, así como su aportación como herramienta de toma de decisiones. En este sentido, quizá una de las mayores ventajas del AHP o “Proceso Analítico de Jerarquización” es su implementabilidad informática, lo que conlleva un uso sencillo en comparación con la dificultad teórica del método, articulando la entrada de información mediante preguntas fáciles de responder.

No obstante, existen ciertas críticas acerca de su definición axiomática (Dyer, 1990), si bien tampoco faltan las contraréplicas (Harker & Vargas, 1990). Por otro lado, se discute también la fiabilidad de los resultados basándose en la limitación de la información requerida por el método. De hecho, se le ha achacado una falta de claridad de definición tras la aparente simplicidad de las preguntas, lo que podría desembocar en juicios erróneos o superficiales (Watson & Buede, 1987).

Por otro lado, la habitual reticencia en algunos ámbitos hacia las estructuraciones matemáticas ha cristalizado en un recelo ante la representatividad de los números introducidos en el aparato analítico de Saaty. Sin embargo, a pesar de que las anteriores

críticas pueden relativizarse por los prejuicios de ciertos sectores hacia los tratamientos matemáticos, debe reconocerse que la limitación de la escala introducida entre 1 y 9 puede dar lugar a inconsistencias (supóngase, por ejemplo, una relación entre la mejor y peor opción considerada como una diferencia de más de 100 veces). Además, la correspondencia entre la escala verbal y numérica es discutible al estar basada en presupuestos no comprobados. Finalmente, los pesos se calculan sin referencia a la escala de medición de los atributos.

Se le ha achacado también otro tipo de críticas más sutiles, como el hecho de que la introducción de una nueva alternativa pueda trastocar la clasificación o jerarquización inicial (Belton & Gear, 1983). Robusté (1987) pone de manifiesto también una pérdida de confianza con el aumento del tamaño (uniformización del valor de los pesos), la incertidumbre y perturbación en las estimaciones.

En cualquier caso, a pesar de la controversia suscitada, el valor de la aportación de Saaty está ampliamente reconocido, y su aplicación constituye un interesante apoyo para la toma de decisión siempre y cuando las preguntas de entrada no sean ambiguas y los axiomas sean comprobables. En síntesis, Goodwin & Wright (1999) distinguen cuatro puntos fuertes de la metodología: su estructuración formal, la simplicidad de la comparación por pares que introduce, la posibilidad de comprobación de la consistencia derivada de la redundancia introducida y su versatilidad.

Sin embargo, a pesar de su indudable aportación, no hay que olvidar que el AHP no introduce ninguna estructuración del problema de la toma de decisión, sino que, de hecho, la da por supuesta.

Las aplicaciones de este método son muy numerosas, y entre las referentes a aspectos de ingeniería podrían citarse, por ejemplo, la de Robusté (1987) para la selección de alternativas de transporte, o la de Al-Subhi (2001) orientada a la selección de contratistas en el ámbito de la construcción.

#### **B.3.2.4. El método “Electre”**

El método “Electre” de Roy (1978), y en concreto su última versión denominada “Electre III” supone otro hito importante en el desarrollo teórico de la toma de decisión. En el ámbito de la construcción, pueden encontrarse recientes ejemplos de aplicación como el de Rogers (2000), al que se remite la descripción realizada en este apartado.

Dicho planteamiento constituye un interesante método iterativo de refinamiento de la solución basado en tres umbrales de juicio; indiferencia, preferencia y veto. Mediante este proceso de refinado se obtiene como resultado una ordenación de la preferencia del decisor en forma de árbol, relacionando las diversas opciones con el resto. Las opciones se comparan por pares (a y b, por ejemplo) mediante el cálculo de lo que denomina un “índice de concordancia” de a y b y que denomina  $C(a,b)$ .

$$C(a, b) = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^n w_i c_i(a, b) \quad \text{donde} \quad W = \sum_{i=1}^n w_i \quad (\text{B.27.})$$

Siendo  $w_j$  el peso de cada criterio y  $c_j(a, b)$  el índice de comparación para el criterio  $j$  calculado mediante la expresión,

$$\begin{aligned} c_j(a, b) &= 1 \quad \text{si} \quad g_j(a) + q_j(g_j(a)) \geq g_j(b) \\ c_j(a, b) &= 0 \quad \text{si} \quad g_j(a) + p_j(g_j(a)) \leq g_j(b) \\ c_j(a, b) &= \frac{g_j(a) - g_j(b) + p_j(g_j(a))}{p_j(g_j(a)) - q_j(g_j(a))} \end{aligned} \quad (\text{B.28.})$$

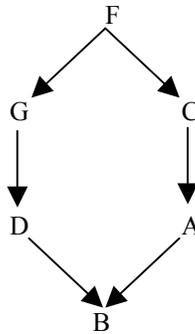
donde  $g_j(*)$  es una función del nivel de eficiencia respecto al criterio “ $j$ ” y  $q_j(*)$  y  $p_j(*)$  son las funciones de cálculo de los umbrales de indiferencia y preferencia respectivamente. Paralelo planteamiento se hace con el veto, donde el índice de concordancia pasa a denominarse “Índice de discordancia” y aparece la función de cálculo del umbral de veto  $v_j(*)$ .

Finalmente se define un “Índice de credibilidad”  $S(a, b)$  como,

$$\begin{aligned} S(a, b) &= C(a, b) \quad \text{si} \quad D_j(a, b) \leq C(a, b), \quad \forall j \\ S(a, b) &= C(a, b) \prod_{j \in \mathfrak{S}(a, b)} \frac{1 - D_j(a, b)}{1 - C(a, b)} \end{aligned} \quad (\text{B.29.})$$

donde  $D_j(a, b)$  es el índice de discordancia entre  $a$  y  $b$  respecto al criterio  $j$  y  $\mathfrak{S}(a, b)$  es el conjunto de criterios para los cuales  $D_j(a, b) > c_j(a, b)$ .

Como se ha apuntado anteriormente, el resultado final del proceso de destilación descrito es un árbol de preferencias como el recogido en la figura B.13.



**Figura B.13.** Ejemplo de árbol de jerarquización de alternativas (Rogers, 2000)

Obviamente, el principal inconveniente de este método es su implementación práctica. Además de su complejidad, su aplicación conlleva una inversión considerable de tiempo y esfuerzo. Sin embargo, ofrece una manera ciertamente original de discernir entre alternativas, y la clasificación que aporta mediante el uso del árbol anteriormente descrito supone otra manera de plantear el problema de la toma de decisión diferente al intento de establecer un índice cuantitativo de comparación. En cualquier caso, debe considerarse que el resultado final refleja la preferencia pero no su proporción o intensidad, y no permite estimar la trascendencia de la toma de decisión ni compararla con otras en un marco de referencia común.

Como ejemplos de la aplicación de esta metodología en el ámbito de la construcción pueden citarse los trabajos de Rogers (2000) o Blanca et al (2001)<sup>30</sup>, donde aparece una descripción más detallada de la técnica y diversos casos prácticos.

### **B.3.2.5. Los sistemas expertos**

Los sistemas expertos son otra herramienta de toma de decisión desarrollada en el ámbito de la inteligencia artificial basada en la modelización informática de los procesos de elección del decisor considerado. De hecho, un sistema experto actúa como una “caja negra” que emite unas salidas de resultados a partir de unas entradas de datos predeterminadas, a través de un proceso, normalmente desconocido por el decisor, que recoge la casuística generada por la experiencia en el problema específico a tratar.

Este tipo de herramientas se suelen incluir dentro de lo que se denominan “ayudas para la toma de decisión” (“Decision Aids”) o “sistemas de apoyo metodológico” (“Decision Support Systems”), entendiéndolo como un dato que oriente la decisión, de modo que en ningún caso sustituya el juicio humano del problema en cuestión.

En el fondo de esta técnica puede identificarse un intento de plasmar de forma sistemática la experiencia y el conocimiento sobre la cuestión tratada, por lo que se suele englobar como un elemento de lo que se ha denominado “Ingeniería del conocimiento” (o “Knowledge Engineering”).

Sin embargo, a pesar de la ayuda que ha supuesto este tipo de herramienta en áreas como la medicina, el marketing (Moutinho & Paton, 1988) o las finanzas (Wright & Rowe, 1993), no tardaron en encontrarse ciertas limitaciones desde el punto de vista de la construcción del sistema, motivadas por la inadecuación del vocabulario del experto a la estructura del programa, el desconocimiento del área de aplicación por parte del programador o diseñador del sistema experto, etc. Ello ha redundado en no pocos casos de abandono del intento (Goodwin & Wright, 1999).

Por tanto, aunque el potencial de este tipo de técnicas está sancionado por la práctica, la limitación de su alcance a un determinado tipo de toma de decisión y el coste y tiempo de

---

<sup>30</sup> Dicho trabajo se realizó en el contexto de investigación de la presente tesis doctoral.

desarrollo e implementación hacen que su potencial aplicabilidad en la industria de la construcción sea más bien limitada a aspectos marcadamente cuantitativos, repetitivos y bien definidos, como ciertos campos de la estimación de costes (Ashworth, 1999), donde se introdujo a principios de la década de los noventa.

### **B.3.2.6. Las técnicas simples de toma de decisión**

Existe así mismo un conjunto de técnicas simples de toma de decisión, a emplear en caso de haber condicionantes temporales importantes o bien cuando se juzga inapropiada la utilización de los anteriores elementos de la teoría de toma de decisiones. Entre ellas se destacan dos: la eliminación por aspectos y la estrategia lexicográfica<sup>31</sup>.

#### **a) La eliminación por aspectos**

Una primera aproximación al problema la constituye el proceso denominado “Eliminación por aspectos” (Tversky, 1972), consistente en desechar de forma iterativa las alternativas que no cumplan los niveles requeridos respecto ciertos criterios considerados. Sin embargo, a pesar de su indudable sencillez y sentido común, pueden achacársele varias limitaciones, relativas a la elección de los criterios a considerar, la manipulabilidad de la tendencia de elección humana o la no-compensatoriedad de los diversos criterios. En cualquier caso, puede servir como primera aproximación o como proceso de criba en un planteamiento más riguroso<sup>32</sup>.

#### **b) La estrategia lexicográfica**

Otra aproximación metodológica a la toma de decisión más sencilla aún que la eliminación por aspectos la constituye la denominada “estrategia lexicográfica”, consistente en la selección de un solo criterio, considerado como el más importante, en base al cual se estructurará la elección entre las alternativas disponibles<sup>33</sup>.

---

<sup>31</sup> En el caso en que no exista simultaneidad en la disponibilidad de las alternativas, puede optarse por la toma de decisión secuencial, basada en el criterio de satisfacción introducido por Simon (1979). Este concepto explica también cómo una toma de decisión puede hacerse bien mediante un exhaustivo proceso de cálculo o bien con información incompleta. Por otro lado, el carácter secuencial es muy común en las tomas de decisión relativas a los proyectos constructivos, en especial en lo concerniente a la planificación.

<sup>32</sup> Existe incluso otra variante de la eliminación por aspectos denominada “estrategia conjuntiva”, cuya particularidad radica en que el decisor considera todos los criterios de igual importancia, a diferencia de la eliminación por aspectos, donde se tiene en cuenta su peso relativo (aunque de forma no numérica) (Goodwin & Wright, 1999).

<sup>33</sup> Existe también una variante denominada “semilexicográfica”, similar a la anterior y cuya diferencia reside en que, cuando el desempeño de las alternativas respecto al atributo seleccionado es similar, el decisor salta al siguiente atributo en orden de importancia (Goodwin & Wright, 1999).

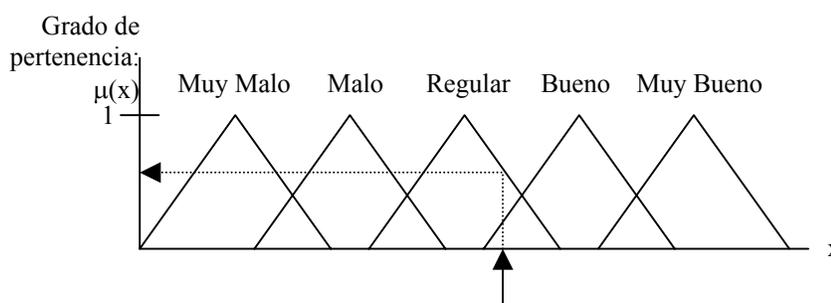
A este enfoque podrían hacerse críticas similares al de la eliminación por aspectos, si bien se elude una discusión exhaustiva y en detalle sobre las mismas por considerarse redundante.

### B.3.2.7. El tratamiento mediante matemática difusa

La irrupción de la matemática difusa (“fuzzy sets theory”) en la ciencia de la gestión y en particular en la investigación operativa y en el tratamiento del problema de la toma de decisión supuso un paso importante en el tratamiento de la incertidumbre. En el análisis de su aplicación se han identificado dos modos de implementación que ahora se describirán: mediante categorías verbales y como modo de articular la imprecisión en las estimaciones.

#### *El tratamiento difuso mediante categorías verbales*

En primer lugar, este tipo de matemática, cuyos principios fundamentales están descritos en el Apéndice E, supone la posibilidad tratamiento lingüístico de las variables, de modo que cada categoría lingüística se representa mediante un conjunto difuso que engloba los valores numéricos del parámetro  $x$  considerado, a los que, en mayor o menor medida, puede asociárseles dicha categoría. El grado de inclusión se modeliza mediante la función de pertenencia difusa a la que se denomina  $\mu(x)$ , representándolo numéricamente en un intervalo entre 0 y 1. De este modo, un mismo elemento podría pertenecer a dos categorías lingüísticas distintas, tal como se indica en la figura B.14.



**Figura B.14.** Representación del tratamiento de las categorías lingüísticas mediante matemática difusa.

Tal como se observa en la figura precedente, el lenguaje asigna categorías a las que las cosas pueden pertenecer no de forma absoluta sino en un cierto grado. Esta es la idea intuitiva de la función de pertenencia.

Según este tratamiento, un número real convencional sería un caso particular de conjunto difuso con una función de pertenencia igual a cero en todos los puntos excepto en el correspondiente al número considerado, donde adoptaría un valor de 1. Por otro lado, la operativa de este tratamiento se articula mediante el álgebra definida en el entorno de la matemática difusa para este tipo de conjuntos.

*El tratamiento difuso como modo de articular la imprecisión en las estimaciones*

Otra manera de emplear con la matemática difusa responde a la utilización de los números difusos o fuzzy, para operar con valores englobados en un cierto intervalo de aproximación, ampliando el tratamiento algebraico tradicional mediante un número concreto. Es, por tanto, un modo de tratar valores aproximados de manera que quede reflejado el espectro que puede adoptar con un cierto grado de pertenencia.

Un elegante ejemplo de integración de este tipo de herramienta matemática en la teoría de la utilidad multiatributo es el método “estocástico-difuso” propuesto por Wong et al. (2000) y aplicado al sector de la construcción. Los citados autores introducen un tratamiento numérico mediante la utilización de la representación denominada L-R, caracterizada por tener una función de pertenencia  $\mu_M(x)$  de la forma recogida en la expresión B.30.

$$\mu_M(x) = \begin{cases} L[(m-x)/\alpha] & x < m, \quad \alpha > 0 \\ R[(x-m)/\beta] & x > m, \quad \beta > 0 \end{cases} \quad (\text{B.30.})$$

donde L y R son funciones monotónicas, m es el valor medio y  $\alpha$  y  $\beta$  se denominan dispersión izquierda y derecha respectivamente. Por simplicidad de notación, la anterior expresión se representa como,

$$M = (m, \alpha, \beta)_{LR} \quad (\text{B.31.})$$

La utilidad resultante de la estimación multiatributo se calcularía mediante las formulaciones clásicas de la utilidad multiatributo, recogidas en el apartado B.2.3.

Wong et al (2000) definen el orden de preferencia mediante el criterio de dominancia estocástica aplicado a las funciones de distribución acumulada asociadas a la función de utilidad resultante, es decir, F(x) supera a G(x) si y sólo si,

$$\int_{-\infty}^x \int_{-\infty}^x F(w) dw dt \leq \int_{-\infty}^x \int_{-\infty}^x G(w) dw dt \quad (\text{B.32.})$$

Obviamente ello implica una conversión de la función de pertenencia en función de probabilidad triangular, lo cual no aparece justificado desde el punto de vista teórico en la propuesta de los citados autores.

En definitiva, el interés de esta aportación radica más bien en que propone la utilización de esta herramienta matemática como modo de representar el rango de variabilidad de las estimaciones de los diversos parámetros. No obstante, la propuesta de Wong et al. (2000) adolece de ciertas limitaciones. En primer lugar, la aplicación del criterio de dominancia estocástica supone una correspondencia entre la función de pertenencia resultante de la aplicación de la formulación de la utilidad multiatributo y la

función de probabilidad triangular, cuya validez es discutible desde el punto de vista matemático. Por otro lado, dicho criterio de dominancia estocástica es muy restrictivo y no siempre sería aplicable; sería útil únicamente para comparar soluciones en las que la preferencia se vea marcada de forma importante, lo cual inhabilitaría la herramienta para discernir casos poco claros.

### B.3.2.8. Síntesis de los desarrollos de transición entre paradigmas

En la tabla B.3. se adjunta una síntesis de las ventajas e inconvenientes de los diversos desarrollos alternativos en el contexto de la transición entre el paradigma positivista y el posmodernista. Como puede observarse en ella, los citados desarrollos consiguen superar sólo en parte las objeciones al enfoque positivista recogidas al inicio de este apartado. Tal como se observa en la tabla anterior, existen todavía considerables limitaciones en los desarrollos anteriormente citados, principalmente desde un punto de vista de implementación práctica, pues muchos de ellos implican una considerable complejidad teórica. Como consecuencia de ello, aparecerá el paradigma posmodernista de la toma de decisión, cuyo planteamiento supone un corte radical con el enfoque positivista, todavía remanente en diversos aspectos de estos desarrollos de la época de transición, principalmente en lo relativo al intento de cuantificación.

Desarrollo alternativo	Ventajas	Inconvenientes
Los modelos descriptivos	- Introducen elementos psicológicos para dar una explicación a las objeciones a la racionalidad neoclásica.	Tienen valor meramente teórico, no son instrumentos orientados a la práctica
Las variantes simplificadas de la MAUT (SMART)	- Mayor sencillez y facilidad de aplicación práctica que la MAUT - Permite la evaluación multiatributo	- Menor finura en la evaluación que la MAUT
El “Proceso Analítico de Jerarquización” (AHP)	- Existencia de objeciones teóricas sobre sus hipótesis de partida - Permite únicamente una evaluación global o respecto a un único criterio	- Implementación informática
El método “Electre”	- Gran capacidad de discernimiento entre alternativas y gran finura en la estimación - Aporta una jerarquización arbórea de alternativas y evita la comparación mediante un índice numérico	- Considerable complejidad - Gran cantidad de tiempo necesario para la estimación
Los sistemas expertos	- Recogen la experiencia de forma sistemática - Rápido de ejecutar	- Aplicables a problemas muy concretos y de alcance limitado. No admiten la incertidumbre en la entrada de datos.
Los métodos simples de toma de decisión	- Rápidos de ejecutar - Sencillez teórica	- Poca finura en la estimación
El tratamiento mediante matemática difusa	- Introduce un modo de tratar la incertidumbre sin necesidad del uso de la probabilidad - Permite estimar el grado de pertenencia de un resultado a una cierta categoría verbal	- Cierta complejidad teórica - Carencia de un criterio claro de elección entre resultados

**Tabla B.3.** Los desarrollos alternativos a las herramientas positivistas clásicas de toma de decisión desarrollados en un contexto de transición desde el paradigma positivista al posmodernista.

## B.4. LA APARICIÓN DEL PARADIGMA POSMODERNISTA

Tal como se comentaba en el capítulo 2 de esta tesis, la corriente crítica hacia la racionalidad neoclásica desembocó en la aparición de un nuevo paradigma del problema de la toma de decisión. Dicho enfoque tomaba su fundamento en la corriente posmodernista, de modo que planteaba la resolución del problema desde una perspectiva social, mediante la búsqueda del consenso, sin atender, por tanto, a cuál sería la solución óptima desde un punto de vista racionalista. En este apartado se describen varios de sus elementos más característicos, como extensión de lo comentado en el estado del conocimiento de esta tesis.

### B.4.1. Las técnicas de trabajo en equipo

Entre las técnicas de trabajo en equipo más relevantes para la revisión que aquí se realiza destacan las siguientes<sup>34</sup>:

- a) Las “conferencias de decisión”<sup>35</sup> o “Decision Conferencing”
- b) El método “Delphi”.

#### *a) Las “conferencias de decisión” o “Decision Conferencing”*

La técnica denominada “Decision Conferencing” fue inventada a finales de la década de los setenta por Cameron Peterson en el seno de una empresa de consultoría (Phillips, 1989). En esencia, esta metodología se basa en una sesión intensiva de dos o tres días en la que participa un equipo de trabajo cuyo fin es llegar a resolver un asunto complejo. El proceso de trabajo consta de un diálogo e intercambio de pareceres sobre la cuestión en estudio. El debate lo modera y conduce una persona y otra utiliza medios informáticos de soporte orientados a la toma de decisión, tales como programas informáticos especializados o similares. El objetivo es, por tanto, lograr una visión común del problema e intentar llegar a una solución consensuada del mismo. En definitiva, puede observarse una amplia coincidencia con la visión posmodernista del problema.

#### *b) La técnica Delphi*

La técnica Delphi consiste, en esencia, en un proceso iterativo de trabajo en equipo basado en la emisión de juicios cuantitativos acerca de una realidad determinada. Una característica importante de este proceso es que los participantes realizan su estimación separadamente y con posterioridad se ponen en común los resultados.

---

<sup>34</sup> Podrían citarse otras técnicas, como la “Técnica de Grupo Nominal” (“Nominal Group Technique”), si bien se han escogido estas dos por considerarse las más representativas de los dos posibles enfoques del trabajo en equipo que se quieren destacar.

<sup>35</sup> En esta tesis se adopta la traducción al castellano del nombre de esta técnica que aparece en León (1993).

Las opiniones o juicios pueden ser acerca de probabilidades, fechas de ocurrencia, duraciones, etc. A menudo, estas respuestas se articulan mediante cuestionarios a rellenar por los miembros del equipo.

La puesta en común se realiza mediante la agregación estadística de opiniones, y normalmente se adopta la media de los valores aportados. Si no existe un grado de consenso adecuado, se plantearán iteraciones sucesivas hasta lograrlo. El desacuerdo se expresa a menudo por escrito, y, en caso de ser una objeción razonable, puede dar lugar a una posterior iteración en el proceso.

Como puede observarse de la descripción anterior<sup>36</sup>, la técnica Delphi no corresponde estrictamente al paradigma “blando” descrito en este apartado, dado que no supone un proceso interactivo de consenso sino más bien un proceso de estimación que utiliza el trabajo en equipo como un medio para conseguir una mayor precisión en la estimación. Sin embargo, su carácter de trabajo iterativo en equipo asume, al menos de forma implícita, muchos de los presupuestos de los modelos de requisitos anteriormente explicados.

#### **B.4.2. Las metodologías "blandas"**

##### *a) La metodología de los sistemas blandos (Soft Systems Methodology)*

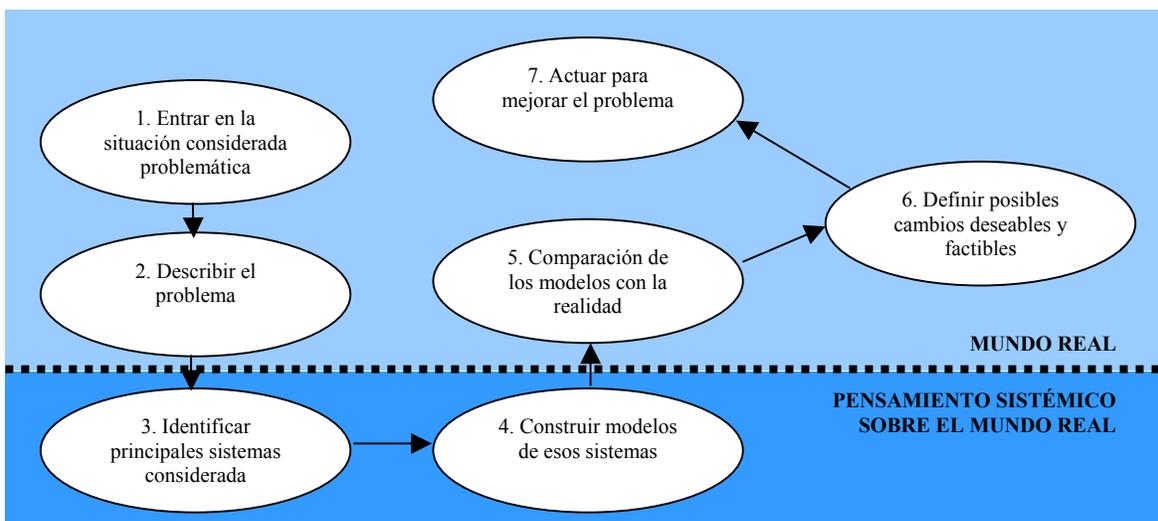
La técnica denominada “metodología de los sistemas blandos” (Soft Systems Methodology o SSM) fue desarrollada por Checkland a finales de los años setenta (Checkland, 1981 y 1989; Checkland & Scholes, 1990). Nació como intento de dar un respuesta al fallido intento de aplicar las técnicas de la ingeniería de sistemas en problemas complejos con una fuerte componente de factores de índole psicológico y social. El dinamismo, intangibilidad y las múltiples posibles perspectivas de este tipo de problemas daban al traste con las modelizaciones clásicas de tipo sistémico.

La diferencia esencial en su enfoque radica en que se centra, no ya en la consecución de ciertos objetivos, sino, tal como se ha dicho, en el concepto de “aprendizaje”. El objeto de la metodología sería, por tanto, crear un clima de diálogo e interacción entre las partes para lograr una solución consensuada del problema. Cabe identificar también un marcado énfasis en el intento de flexibilidad orientado a la aplicabilidad en múltiples situaciones.

Su articulación metodológica se basa en siete fases, recogidas en la figura B.15. Como puede observarse, el esquema propuesto sigue un flujo natural de resolución de un problema que evoca la teoría clásica de ingeniería de sistemas, si bien con un cariz ciertamente más flexible.

---

<sup>36</sup> Dicha descripción ha sido extraída de diversas publicaciones (Goowin & Wright, 1999; Jennings & Wattam, 1996; Dell’Issola, 1997; León, 1993; Cañavete, 1997).



**Figura B.15.** Las siete fases del SSM (Fuente: Checkland, 1989)

Es importante remarcar también que las fases recogidas en la figura no tienen por qué desarrollarse de forma lineal. De hecho, cabe llevar a cabo tantas iteraciones, saltos, idas y venidas entre dichas etapas como se crea oportuno para lograr una retroalimentación continua y un mayor conocimiento del problema.

Esta perspectiva pretende, por tanto, servir de guía para un proceso continuo de aprendizaje, derivado del carácter cambiante del entorno y, por consiguiente de las organizaciones.

#### *b) La elección estratégica (Strategic Choice)<sup>37</sup>*

La “elección estratégica” o “Strategic choice” es una metodología de toma de decisión de carácter socio-técnico, de la cual fue pionera el Tavistock Institute durante los años 70 y desarrolló posteriormente Friend (Friend, 1989; Friend & Hickling, 1997). Dicho enfoque se basa una vez más en el trabajo en equipo guiado por un consultor y sin limitación específica de duración ni de número de sesiones.

Dicha metodología parte del presupuesto de que las decisiones referentes a la gestión se llevan a cabo siempre en condiciones de incertidumbre, que clasifica en tres tipos:

- *Incetidumbre de los valores* (“Uncertainty of Values” o UV): hace referencia a los objetivos o valores guía.

<sup>37</sup> Cabría citar también una metodología similar, denominada “Desarrollo y análisis de las opciones estratégicas” o “Strategic Options Development and Analysis” o simplemente “SODA” (Eden, 1989), que no se incluye en este análisis en orden a limitarlo de algún modo.

- *Incertidumbre del entorno* (“Uncertainty of Environment” o UE): con relación al entorno del problema considerado
- *Incertidumbre de relación* (“Uncertainty of Relation”): relativa a la interconectividad o relación entre diferentes áreas de decisión (UR), es decir, con las implicaciones de una decisión particular.

La estructura de trabajo se plantea mediante un proceso iterativo, basada en cuatro actividades:

- *Modo de forma* o “shaping mode”; está dirigido a la formulación del problema mediante la identificación gráfica y unión<sup>38</sup> de áreas de decisión, lo que capacita a los decisores a identificar los problemas más urgentes y llegar a un consenso respecto a la formulación inicial del problema.
- *Modo de diseño* o “designing mode”; en él el consultor guía a los participantes hacia la identificación de diferentes opciones, que se combinan y analizan en diversos esquemas de decisión.
- *Modo comparativo* o “comparing mode”; en el que se cotejan los beneficios de las diversas opciones mediante un grupo de técnicas, que se diferencian de las del análisis de decisiones en que permiten una combinación de comparaciones cuantitativas y cualitativas.
- *Modo de elección* o “choosing mode”; combina una toma de decisiones inmediata con el diseño de una estrategia para gestionar aquellas decisiones mejor tomadas a la luz de información posterior. El resultado de cualquier reunión incluiría inmediatamente un compromiso de acción y estrategias para resolver las áreas de incertidumbre identificadas para ayudar a futuras decisiones.

### c) Los escenarios

Los “escenarios” constituyen un modo alternativo de tratar la incertidumbre que huye de lo que considera un encorsetamiento matemático en relación con las herramientas probabilistas. En líneas generales, consiste en la construcción de posibles futuros escenarios y la evaluación cualitativa de cada alternativa en el contexto de cada uno de ellos.

La hipótesis de partida de este enfoque parten una vez más de una visión postmodernista de la capacidad estimativa humana, según la cual los eventuales decisores no son capaces de efectuar estimaciones válidas sobre la probabilidad de sucesos de naturaleza única (como puede ser una crisis económica puntual, un conflicto bélico, etc.). Esta hipótesis es coherente con el argumento según el cual la teoría de la probabilidad no es aplicable a sucesos de las características descritas anteriormente.

---

<sup>38</sup> En versión original “to link” (linkado o unión).

Por otro lado, otro argumento utilizado por los defensores de esta técnica (e.g. Van der Heidjen, 1996) es la mayor representatividad de opiniones mayoritarias, que quedarían enterradas en un enfoque cuantitativo tradicional. De hecho, los escenarios no pretenderían aportar una predicción del futuro, sino una imagen de las diversas posibilidades. Por otro lado, esta aproximación al problema permite recoger el proceso de estimación o juicio, oculto en el tradicional árbol de decisión probabilista, donde se muestra únicamente el resultado. Además, haría posible una exploración más profunda del desacuerdo, en vez de integrar las diversas opiniones mediante un valor medio, ponderado o no.

Por tanto, este enfoque supone una identificación de las incertidumbres críticas futuras sin pretender asociar una probabilidad, y de cara a idear soluciones o medidas, siempre desde un punto de vista cualitativo.

En el contexto de esta metodología existen diversas variantes a la hora de construir los escenarios (método de extremos, método de las fuerzas principales, etc.), en los cuales no se incidirá por considerarlo fuera del alcance de la presente investigación.

Finalmente, en ocasiones se plantea también la integración en esta técnica de las herramientas clásicas de toma de decisiones (correspondientes al paradigma positivista o sus derivados), de manera que aportan un lenguaje común para entender el problema (Von Winterfeldt & Edwards, 1986). Por ejemplo, en ocasiones se plantea la integración de herramientas cuantitativas de carácter más “blando”, como el método SMART citado anteriormente (Goodwin & Wright, 1999). Además, en ocasiones también se ha propuesto la introducción de elementos específicos de la toma de decisión multiatributo (Keeney, 1982).

### **B.4.3. Los modelos de requisitos**

#### *Definición*

Fruto de esta nueva perspectiva, surge una importante aportación a la teoría de toma de decisiones; la introducción del concepto de “modelos de requisitos” (Phillips, 1982 y 1984), cuyo significado hace referencia principalmente al ámbito de la toma de decisión en el contexto de trabajo en equipo. De hecho, las técnicas citadas en el apartado anterior podrían considerarse dentro de este otro tipo de modelos de toma de decisión que constituyen una alternativa a los modelos normativos comentados en el apartado B.2.5. El análisis de este tipo de articulación metodológica se llevará a cabo a través de los cuatro elementos identificados en el apartado B.2.5:

- i) El proceso metodológico de toma de decisión
- ii) El análisis y estructuración del problema
- iii) La generación de alternativas
- iv) La evaluación o valoración de alternativas

### *El proceso metodológico de toma de decisión*

En lo relativo al proceso metodológico de toma de decisión el enfoque posmodernista propone un esquema de trabajo más flexible y cualitativo, orientado a un proceso iterativo de búsqueda de consenso y donde se relativiza el concepto de realidad. Un claro ejemplo de una articulación del proceso de toma de decisión de tipo posmodernista cabe encontrarlo en el modelo propuesto por la metodología SSM (Soft System Methodology) de Checkland (1981), recogido y descrito anteriormente en la figura B.15.

Este aspecto adquiere una mayor importancia en el enfoque posmodernista pues, de hecho, una de las consecuencias de la asunción de sus presupuestos filosóficos es el traslado del acento o énfasis del tratamiento de la información del problema al proceso. El enfoque social y participativo, empapado por una concepción relativista de la realidad hace que lo importante pase a ser el proceso y no tanto el resultado, ya que en definitiva lo que se busca es un consenso, y no una solución óptima.

### *El análisis y estructuración del problema*

Dicho enfoque se basa en la premisa de que personas diferentes tienden a abordar las situaciones de forma distinta, creando diversas representaciones diferentes del problema<sup>39</sup>. Esta consideración llevó a Phillips (1982 y 1984) a negar que exista una interpretación correcta o única de un problema, de manera que la validez de una modelización dependería únicamente de que permitiese resolverlo mediante la propuesta de una solución satisfactoria (ni óptima ni única). Por tanto, ya no son subjetivas únicamente las probabilidades estimadas o las funciones de utilidad, sino la misma estructura del problema, el cual se plantea en términos de requisitos que dependerán de la percepción subjetiva de los decisores. Dicha estructura del problema se conseguiría mediante un proceso de consenso entre los miembros del equipo de trabajo, y proporcionaría una visión común de la cuestión en estudio, con base en la que juzgar las diversas alternativas.

### *La generación de alternativas*

La creatividad adquiere en este contexto una relevancia mucho mayor que en los modelos normativos. Ello es consecuencia del enfoque filosófico posmodernista del problema, de modo que implica una visión más general y flexible del mismo.

### *La evaluación o valoración de alternativas*

En el enfoque posmodernista, el tratamiento matemático del problema es un aspecto, si no carente de importancia, al menos sí de un peso muy relativo. Ello se trasluce de forma clara en las metodologías “blandas” anteriormente descritas, donde el diálogo y la descripción cualitativa eclipsan casi totalmente el tratamiento cuantitativo. La información, por tanto, se analiza y describe cualitativamente, sin intentar integrarla en un índice

---

<sup>39</sup> En este presupuesto de partida cabe identificar una vez más la influencia de las concepciones filosóficas posmodernistas, en concreto del constructivismo anteriormente citado.

homogeneizador que permita una elección independiente de la opinión de los decisores (como el de utilidad).

Finalmente, cabe observar que esta evaluación cualitativa de las alternativas, más ágil que la correspondiente al enfoque cuantitativo, traslada el esfuerzo desde la evaluación al análisis y a la generación de alternativas.

#### **B.4.4. Críticas al enfoque posmodernista**

##### *Las objeciones teóricas*

En primer lugar, el enfoque social aquí expuesto supone, en lo relativo al problema de la toma de decisión, un abandono de la objetividad y la cuantificación, que implica ciertas dificultades teóricas.

Así, en primer lugar, supone un conocimiento más pobre de la realidad y, por tanto, de las alternativas de toma de decisión, ya que relega a la subjetividad el valor de la realidad analizada, lo cual implica el peligro de que se imponga una cierta solución por intereses o por presión de la parte más fuerte.

Además, la falta de estructuración del problema conlleva el riesgo de ignorar aspectos de importancia, desapercibidos por el hipotético grupo de trabajo. Por otro lado, la falta de estructuración del problema, consecuencia de la aplicación radical de los presupuestos posmodernistas, implica que puedan pasarse por alto factores que no han pasado por la cabeza de los miembros del equipo en el contexto del estudio realizado.

##### *Las limitaciones del trabajo en equipo*

Por otro lado, la metodología de trabajo en equipo implica también una serie de inconvenientes que es importante reseñar.

En primer lugar, en un contexto de toma de decisión compartida puede darse el caso de que los miembros del grupo de trabajo emitan juicios interesados (incluso de forma inconsciente) para orientar la elección hacia una cierta alternativa.

Además, la “intensidad de preferencia” o “escala de valores” (Goodwin & Wright, 1999) es algo casi imposible de medir, ya que pertenece a la vertiente psicológica de la persona más difícil de expresar de forma cuantitativa y de comparar entre diferentes sujetos. Así, por ejemplo, una puntuación de 7 emitida por dos personas diferentes no implica necesariamente que la alternativa o aspecto juzgado se perciba de igual modo por ambas personas. De hecho, su intensidad de preferencia será probablemente diferente a pesar de asignarle igual valor numérico. Baste pensar, por ejemplo que hay personas con tendencia a puntuar más bajo o a juzgar con menos benevolencia que otras y viceversa. Esta limitación puede mitigarse en cierta medida mediante el análisis de sensibilidad, si bien

siempre existirá un principio de incertidumbre sobre el valor obtenido. En cualquier caso, esta diferencia de percepción sigue latente en caso de rehuir el intento de cuantificación y buscar un consenso cualitativo.

Por otro lado, Janis (1982) identifica otro tipo de limitación del trabajo en equipo, basada en un efecto al que denomina “Groupthink” (que podría traducirse libremente como “efecto del pensamiento conjunto<sup>40</sup>”). Dicho autor identifica ocho síntomas de esta “patología” del trabajo en equipo<sup>41</sup>. Entre ellos, destaca la presunción, la tendencia a adoptar las opiniones preponderantes, la inhibición a la hora de expresar la opinión, por timidez, por la presencia de sujetos de mayor jerarquía o por presión explícita, lo cual puede dar lugar a una tiranía encubierta (Whyte, 1956)<sup>42</sup>.

Aunque la teoría de Janis (1982) no puede considerarse verificada pues únicamente ha sido contrastada por un pequeño número de experimentos, los resultados y los casos históricos estudiados se inclinan a su favor.

Frente a este fenómeno cabe dos estrategias, sujetas a discusión: por un lado evitar la interacción de los sujetos del grupo de trabajo para evitar este tipo de influencias negativas, cuyo máximo exponente sería el método Delphi (con todas sus variantes). Por otro lado, cabe una segunda alternativa fundamentada en la base teórica de los modelos de requisitos (Phillips, 1984), cuyo objeto sería precisamente la búsqueda de esa interacción como elemento positivo que eluda la obtención de una solución mediante una “caja negra” ajena al grupo, buscando un juicio consensuado (no optimizado) y cuyo principal valuarte es probablemente la técnica de las “conferencias de decisión” (“Decision Conferencing”) de Peterson (Phillips, 1989), descrita anteriormente en el apartado B.4.1.

Respecto a la validación de ambas técnicas, cabe decir que los resultados experimentales del enfoque Delphi no han ayudado a decantarse claramente hacia una conclusión clara acerca de su validez. Por otro lado, McCartt & Rohrbough (1989) han llamado la atención sobre el hecho de que es muy difícil medir la efectividad de las “conferencias de decisión” ya que las aplicaciones reales no aportan una base suficiente de

---

<sup>40</sup> León (1993) traduce esta expresión de forma más literal, como “efecto pensamientogrupo”.

<sup>41</sup> Los síntomas identificados por Janis (1982) pueden sintetizarse en las siguientes ideas:

1. Presunción de invulnerabilidad o excesiva confianza en la capacidad del grupo.
2. Inversión excesiva de tiempo en el análisis de las causas de los problemas
3. Presunción de la validez moral o ética de lo decidido por el grupo, sin la suficiente autocrítica
4. Infravaloración de los competidores
5. Presión sobre los disidentes cuando existe disparidad de opiniones
6. Apoyo no justificado a la opinión del o de los miembros del grupo más influyentes
7. Censura de las discrepancias hacia una cierta opción.

<sup>42</sup> El citado autor hace una dura crítica a la toma de decisión en equipo, destacando, además de los inconvenientes ya citados, una tendencia a la autodestrucción motivada por la creación de una espiral de control fruto del intento de homogeneización del grupo. Además, también acusa a esta forma de trabajo de dificultar la innovación (por la inhibición que produce en algunas personas), y de centrarse excesivamente en el proceso, olvidando lo fundamental de la cuestión, el contenido en sí de la toma de decisión.

comparación para abordar una verificación experimental. Los citados autores proponen también una evaluación del proceso y no de los resultados, pues estos podrían manipularse para mantener la credibilidad de un cierto directivo o responsable de la organización. En cualquier caso, parece claro que la alternativa entre ambas técnicas constituye una cuestión abierta y no demostrada.

Además de los inconvenientes anteriormente citados, debe considerarse que el enfoque social del problema de toma de decisión comporta un gasto mayor, principalmente de tiempo y recursos humanos, lo que restringe su aplicación a tomas de decisión de cierta entidad.

### *Los problemas de implementación*

Por otro lado, a pesar de su orientación práctica, las metodologías blandas aquí descritas adolecen de ciertos problemas de implementación en un modo estrictamente fiel a sus principios filosóficos. Por ejemplo, la asunción de la posibilidad de existencia de diferentes visiones de una realidad (considérese, por ejemplo, un proyecto de construcción), implica que las posibles alternativas deberían juzgarse desde el punto de vista de todos y cada uno agentes del proyecto. Esta aplicación radical de los presupuestos filosóficos de este enfoque conllevaría un número considerable de evaluaciones, lo cual, en general, no es abordable desde un punto de vista práctico.

Además, uno de los presupuestos de la perspectiva social (Checkland, 1981) implicaría un proceso continuo de toma de decisión, lo cual no es compatible con las restricciones temporales de la vida real ni con la conveniencia de que estas se den en puntos temporales concretos.

Por otro lado, la aplicación de este tipo de técnicas requiere un contexto de cooperación entre las diversas partes implicadas en la toma de decisión considerada, lo cual es infrecuente en no pocas ocasiones. Baste considerar, a modo de ejemplo, la cantidad de conflictos, tensiones, contraposición de intereses y dificultades en el trato personal que se dan en la consecución de los proyectos de construcción. Además, estas dificultades no se restringen al ámbito interorganizacional, ya que incluso en una misma organización existen no pocas dificultades de esta índole.

Todo esto lleva a plantear si el enfoque social no adolece de un cierto carácter utópico, asumiendo una crítica y desconfianza feroz ante la razón y cayendo sin percatarse en los lazos de una irrealidad que lleva a una excesiva confianza en el carácter social del ser humano.

### *La relativización de las críticas a los modelos normativos*

Además de las dificultades anteriormente comentadas, existen ciertas opiniones que relativizan el valor de las feroces críticas dirigidas contra el enfoque de los modelos normativos.

Por ejemplo, tal como indican Goodwin & Wright (1999), es importante hacer hincapié en que la importancia de las críticas a la racionalidad neoclásica se relativizan si se tienen en cuenta los presupuestos de la racionalidad limitada (Simon, 1955, 1957 y 1979), según la cual las herramientas neoclásicas tendrían un valor relativo, de lo que no se deduce necesariamente que no tengan cierto valor de aplicación. Es decir, los instrumentos probabilísticos, así como la teoría de la utilidad se emplearían como apoyo al estudio de la decisión, como medio para profundizar en su análisis, sin que ello implique seguir ciegamente los resultados obtenidos.

Por tanto, desde esta perspectiva el enfoque racionalista no pretendería describir la manera en que la persona humana toma la decisión, lo cual es imposible en un sentido absoluto, sino constituir una herramienta de apoyo metodológico. De hecho, lo que una teoría normativa pretende no es sino indicar lo que el decisor debería hacer en caso de aceptar los axiomas o hipótesis de partida de la misma.

Por consiguiente, en este marco de relativización del enfoque racionalista de la teoría de la utilidad y el valor esperado, muchas de las críticas al respecto quedarían mitigadas al entenderla fuera de su contexto y suponerle unas pretensiones desmesuradas que quizá existieron en otra época, si bien hoy en día han dejado de tener sentido.

Finalmente, cabría observar que la dificultad de aplicación o el error humanos en el juicio o estimación no invalidan la aportación desde un punto de vista teórico, aunque lógicamente limitan el alcance de su implementación práctica.

En cualquier caso, lo que sí parece aceptado es la excesiva presunción del enfoque positivista como filosofía de fondo para el planteamiento del problema, en su vertiente más radical y maximalista.

## B.5. HACIA UN PARADIGMA INTEGRADOR

### B.5.1. Síntesis del desarrollo del problema

En definitiva, podría sintetizarse el tratamiento de estos elementos en los enfoques anteriormente estudiados mediante el cuadro recogido en la tabla B.4.

		ENFOQUE POSITIVISTA: Modelos normativos	LA TRANSICIÓN Modelos descriptivos y otros desarrollos	ENFOQUE POSTMODERNISTA: Modelos de requisitos
<b>TÉCNICAS Y APORTACIONES INTRODUCIDAS</b>		- Teoría de la utilidad (multiatributo) - Teoría de sistemas “duros” - Tratamiento probabilístico del riesgo: - Valor esperado - Simulación - Análisis estadístico - Programación lineal	- Modelos descriptivos - El proceso analítico de jerarquización (AHP) - El método Electre - Los sistemas expertos - Las técnicas simples de decisión - El tratamiento mediante matemática difusa	- Las técnicas de trabajo en equipo: - Las conferencias de decisión - La técnica Delphi - La teoría de sistemas “suaves”: - La “Elección Estratégica” - Los escenarios
<b>ELEMENTOS DEL PROBLEMA</b>	<b>PROCESO METODOLÓGICO</b>	Secuencia de actividades lógica y rígida	No se hace ninguna aportación relevante	Secuencia de actividades intuitiva, flexible e iterativa
	<b>ANÁLISIS Y ESTRUCTURACIÓN</b>	Marcadamente estructurado mediante: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Árboles de valor</li> <li>▪ Árboles de decisión</li> <li>▪ Diagramas de influencia</li> <li>▪ Árboles de fallos</li> </ul>	No se hace ninguna aportación relevante	Sin estructuración. Esquema descriptivo del problema
	<b>GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS (CREATIVIDAD)</b>	Suscita poco interés	No se hace ninguna aportación relevante	Adquiere una considerable importancia.
	<b>EVALUACIÓN O VALORACIÓN</b>	- Cuantitativa, mediante la medición de la utilidad y la probabilidad - Evaluación muy afinada	- Explicación de efectos psicológicos en la decisión - Exploración de nuevas formas de simplificación de la evaluación de alternativas	- Cualitativa., ágil y consensuada - Aproximada
<b>VENTAJAS E INCONVENIENTES</b>	<b>VENTAJAS</b>	- Elegancia matemática - Unicidad de soluciones	- Evita la estimación de probabilidades - Rigor teórico	- Elude las dificultades de cuantificación. Simplifica la práctica - Busca las ventajas de adoptar una solución de consenso
	<b>INCONVENIENTES</b>	- Críticas teóricas (paradojas) - Medición de la utilidad - Estimación de probabilidades	- En general, excesiva complejidad	- Inconvenientes del trabajo en equipo - Carácter utópico de algunos de sus principios

**Tabla B.4.** Elementos del problema de la toma de decisión y su tratamiento respecto a los distintos enfoques del mismo

El análisis realizado en la tabla precedente se ha llevado a cabo recogiendo los desarrollos teóricos mencionados en apartados anteriores, analizando los elementos del problema identificados en el apartado B.2.5. y sintetizando las ventajas e inconvenientes de los diversos enfoques.

En el contexto de la coexistencia entre ambos paradigmas a la que se hace referencia en el apartado 2.2. de esta tesis, en el análisis realizado sobre la literatura de la teoría de la decisión se han identificado discretos indicios de una cierta tendencia integradora, los cuales se han resumido esencialmente en dos líneas: los sistemas de apoyo a la decisión y el uso de metáforas en la gestión.

### **B.5.2. Los sistemas de apoyo a la decisión**

Los sistemas de apoyo a la decisión constituyen un intento de integración de los instrumentos clásicos de la toma de decisión en un enfoque más amplio. Tal vez un claro ejemplo de ello lo constituye la ya citada técnica de “conferencia de decisión” (“Decision Conferencing”). Al describir esta técnica de trabajo en equipo, situada en el enfoque social o posmodernista del problema de la toma de decisión, se hacía referencia al uso de programas informáticos basados en herramientas de tipo numérico y por tanto de carácter positivista o “duro”. La función de estos instrumentos servir de apoyo al proceso de toma de decisión, de modo que su estudio favorece la profundización en la comprensión del problema. Obviamente, en ningún momento se toma su resultado como algo absoluto que sustituya la discusión.

Actualmente, este concepto de “sistema de apoyo a la decisión” (“Decision Support System”) ha alcanzado un notable desarrollo, tanto en lo referente al desarrollo de herramientas informáticas como en lo que es más importante, la idea de “soporte” o “apoyo” a la decisión, que se sitúa claramente en una dirección integradora.

### **B.5.3. El uso de metáforas en la gestión**

Como puede deducirse de lo descrito en apartados anteriores, existen diversos modos de abordar el problema de la toma de decisión sin que se pueda hablar, en términos generales, de una alternativa comúnmente aceptada y exenta de criticismo. Todas las perspectivas o enfoques poseen ciertas ventajas e inconvenientes teórico-prácticos, de manera que, según las características del caso considerado, puede ser más conveniente la aplicación de una u otra.

Por tanto, cabría plantear un nuevo modo de abordar el problema que parta de la aceptación de los enfoques anteriores en una perspectiva amplia, de manera que se utilice uno u otro, o bien una combinación de todos ellos, según el caso, de manera que se aprovechen las ventajas de cada uno.

Un ejemplo de esta nueva perspectiva puede encontrarse en el uso en el ámbito de la gestión de las denominadas “metáforas”. Este enfoque, popularizado por Morgan (1986), se basa en la creación de un ambiente de trabajo que capte la imaginación y compromiso de los participantes, de manera que se permite la utilización de cualquier tipo de técnica o metodología de toda índole. En cada hipotética aplicación de este enfoque se pensaría previamente qué instrumentos podrían utilizarse para conseguir alcanzar el objetivo buscado, sin prejuicios teóricos acerca de su pertenencia a un cierto paradigma. Por tanto, englobaría el conjunto de metodologías y formulaciones descritas anteriormente y otras aplicables, sea cual fuere su ámbito de origen. De este modo, según los condicionantes de tiempo, recursos disponibles, etc. podría plantearse un proceso de toma de decisión individual o en equipo. Por otro lado, el análisis y evaluación de las alternativas podría llevarse a cabo mediante formulaciones o tratamientos matemáticos de corte racionalista o mediante estimación cualitativa y social.

Tal vez uno de los usos más extendidos de este enfoque corresponde a la denominada “metáfora dramaturgica” cuyo origen se remonta a Goffman (1959) y ha sido estudiada recientemente por Clark & Salaman (1996) en lo relativo a su aplicación al ámbito de la consultoría. Dicho modo de concebir la gestión se basa en el desarrollo de un proceso de toma de decisión, encuadrado en un contexto de consultoría, a semejanza de una obra de teatro; se asignarían previamente unos papeles a los participantes y se establecerían unas reglas del juego. Según esto, dichas reglas del juego pueden corresponder a un paradigma positivista, posmodernista o a una combinación de ambos, por lo que queda evidenciado su carácter integrador.

En definitiva, la aportación del enfoque metafórico reside en la amplitud que proporciona en la visión del problema, de modo que evita caer en reduccionismos que pretenden restringir el modo de abordar el problema a un camino determinado y asume la diversidad y complejidad que se da en la vida real. Cabe decir también que de esta manera se consigue también un mayor aprovechamiento del desarrollo de la ciencia, ya que supone adoptar las ventajas de cada uno de los enfoques según las características concretas del caso considerado.

Sin embargo, es importante observar que la perspectiva metafórica supone en el fondo la asunción una vez más de los presupuestos posmodernistas, pues asume la no cognoscibilidad de la realidad, a la que es posible aproximarse mediante un modo de abordar el problema que no busca encontrar una solución preexistente, sino una visión común, un acuerdo frente a la solución a adoptar.

## B.6. BIBLIOGRAFÍA

Allais, M. (1953) “Le comportement de l’homme rationel devant le risque: critique de postulata et l’ecole americaine”. *Econometrica*, 21, 503-546

Ashworth, A. (1999) “Cost Studies of Buildings”. Ed. Allison Wisley Longman (3ª edición).

Asimow, M. (1962) “Introduction to Design”. Ed. Prentice Hall.

Al- Subhi, K.M. (2001) “Application of the AHP in project management”. *International Journal of Project Management*, v.19, pg. 19-28.

Beach, L.R., Christensen-Szalanski, J. & Barnes, V. (1987) “Assesing Human Judgement: Has It been Done, Can it be Done, Should it be Done?”. En “Judgmental Forecasting”, Wright G. & Ayton, P. (eds.). Ed. Wiley, Chichester.

Bell (1982), D.E. (1982) “Regret in Decision Making under uncertainty”. *Operations Research*, 30, 961-981.

Bell (1985), D.E. (1982) “Disapointment in Decision Making”. *Operations Research*, 33, 1-27.

Bell (1994), K.L. (1994) “The Strategic Management of Projects to Enhace Value For Money for BAA plc.”. Tesis docyotoral no publicada. Heriott-Watt University.

Belton, V. & Gear, T. (1983) “On a Short Coming on Saaty’s Method of Analytical Hierarchies”. *Omega*, 11, 228-230.

Bernouilli, D. (1738) “Specimen theoriae norae de mensura sortis”. *Comentarii Academiae Scientiarum Imperiales Petropolitanae*, 5, 175-192. (traducido por Sommer, L., en *Econometrica*, 1954, 22, 23-26).

Biermann, H., Bonini, C., Hausmann, W. (1994) “Análisis cuantitativo para la toma de decisiones”. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. (Traducción de “Quantitative analysis for bussiness decisions”. 8ª edición).

Blanca, D., Aguado, A., Ormazabal, G. (2001) “Estudio de la aplicabilidad de los métodos analíticos de toma de decisión en el diseño constructivo”. Tesina de especialidad. Escola Tècnica Superior d’Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (ETSECCPB). Junio del 2001.

Brown, R.V. , Kahr, A.S. & Peterson, C. (1974) “Do managers find decision theory useful?”. *Harvard Business Review*, 48, 78-89.

- 
- Cabañete, A. (1997), "Toma de decisiones. Anàlisis y entorno organizativo". Aula teòrica nº53. Edicions UPC.
- Casteleiro, M. (1986) "Concepto de riesgo. Desarrollo histórico y su tratamiento estadístico". En "Riesgos naturales en ingeniería civil" (publicación conjunta). Ed. UPC.
- Chapman, L.J. & Chapman, L.P. (1969) "Illusory Correlation as an Obstacle to the Use of Valid Psychodiagnostic Signs". *Journal of Abnormal Psychology*, 74, 271-280.
- Checkland, P.B. (1981) "Systems Thinking, Systems Practice". Ed. Wiley.
- Checkland & Scholes (1990) "Soft Systems Methodology in action". Ed. Wiley.
- Clark, T. & Salaman, G. (1996) "The use of metaphor in the client-consultant relationship: A study of management consultancies". En *Organizational Development: Metaphorical Explorations* (eds. Oswick, C. & Grant, D.). Ed. Pitman, Londres, pp. 154-174.
- Comanys, R. (1989) "Planificación y programación de la producción". Ed. Marcombo.
- Dawes, R.M. (1975) "Graduate Admission Variables and Future Success". *Science*, 187, 721-743.
- Dyer, J.S. (1990) "Remarks on the Analytic Hierarquy Process". *Management Science*, 36, 249-258.
- Edwards, W (1954). "The Theory of Decision Making". *Psychological Bulletin*, 51, 380-417.
- Edwards, W (1977). "Use multiattribute utility measurement for social decision making". En "Conflicting Objectives in Decisions", Bell, D.E., Keeney, R.L. and Raiffa, H. (eds.). Ed. Willey Interscience.
- Edwards, W. and Barron, F.H. (1994) "SMARTs and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement". *Organizational Behaviour and Human Decision Processes*, 60, 306-325.
- Einhorn H.J. & Hogarth R.M. (1980) "Behavioural Decission Theory: Processes of Judgement and Choice". *Annual Review of Psychology*, 32, 52-88.
- Einhorn H.J. & Hogarth R.M. (1985), "Ambiguity and uncertainty in probabilistic inference". *Psychological Review*, 92, 433-461.

Einhorn H.J. & Hogarth R.M. (1986) "Decision Making under ambiguity". En "Rational Choice: the Contrast between Economics and Psychology", Hogarth, R.M. and Reder, M.W. (eds.). Ed. University of Chicago Press. Pag. 41-66.

Einhorn H.J. & Hogarth R.M. (1990) "Venture theory: a model of decision weights". *Management Science*, 36, 780-803.

Ellsberg, D. (1954) "Classic and current notions of measurement utility". *Economic Journal*, 64, 528-556.

Ellsberg, D. (1961) "Risk, Ambiguity and the Savage Axioms". *Quarterly Journal of Economics*, 75, 643-669

Fishburn, P.C. (1970) "Utility Theory for Decision making". Ed. Wiley.

Fishhoff, B. (1980) "Decision Analysis: Clinical Art or Clinical Science?", en "Human Decision Making", Sjoberg, L., Tyszka T. & Wise, J.A. (eds). Ed. Bodafors.

Fishhoff, B., Slovic, P. & Lichtenstein, S. (1978) "Fault Trees: Sensitivity of Estimated Failure Probabilities to Problem Representation". *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 330-344.

Flanagan, R. & Norman, G. (1993) *Risk Management & Construction*. Ed. Blackwell Science.

Friend, J.K. (1989) "The Strategic Choice Approach". En "Rational Analysis for a Problematic World: Problem Structuring Techniques for Complexity, Uncertainty and Conflict", Rosenhead, J. (ed.). Ed. Wiley.

Friend, J.K. & Hickling, A. (1997) "Planning Under Pressure: the Strategic Choice Approach". Ed. Butterworth-Heinemann, Oxford. (2ª edición, 1ª edición en 1987).

Gigerenzer, G. (1994) "Why the Distinction between Single Event Probabilities and Frequencies is Important for Psychology (and Vice Versa)". En Wright, G. y Ayton, P. (eds) "Subjective Probability". Ed. Wiley.

Goldberg, L.R. (1965) "Diagnosticians versus Diagnosis Signs: The Diagnosis of Psychosis versus Neurosis from the MMPI". *Psychological Monographs*, 79, 602-643.

Goodwin, P. & Wright, G. (1999) "Decision Analysis For Management Judgment". Ed. John Wiley & Sons.

Goffman, E. (1959) "The Presentation of Self in Everyday Life". Ed. Doubleday.

Hall, A.D. (1962) "A methodology for Systems Engineering". Ed. Van Nostrand.

Harker, P.T. & Vargas, L.G. (1990) "Reply to "Remarks on the Analytic Hierarquy Process" por Dyer, J.S.", *Management Science*, 36, 269-273.

Hogarth, R.M. & Makridakis, S. (1981) " Forecasting and Planning: An Evaluation". *Management Science*, 27, 115-138.

Howard, R.A. (1968) "The foundations of decision analysis". *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, SSC-4, 211-219.

Howard, R.A: (1989) "Knowledge maps". *Management Science*, 35, 903-923.

Hull, J.C. (1977) "Dealing with Dependence in Risk Simulations". *Operational Research Quarterly*, 28, 201-203.

Humphreys, P "Decision Aids: Aiding Decision". En "Human Decision Making", Sjoberg, L., Tyszka T. & Wise, J.A. (eds). Ed. Bodafors.

Inglés, O.G. (1979 ) "Human factors and error in Civil Engineering, Applications of Statistics and Probability in Soils and Structural Engineering", pp. 402-417. Ed. University of South Wales, Sydney.,

Janis, I.R. (1982) "Groupthink" (2ª ed). Ed. Houghton Mifflin, Boston.

Jennings, D. & Wattam, S. (1996) "Análisis de decisiones. Un enfoque integrado". Ed. Compañía Editorial Continental. México. (Traducción de "Decision Making: an integrated approach". Ed. Pitman Publishing, 1994)

Kahneman & Tversky (1979) "Prospect theory: an analysis of decision under risk". *Econometrica*, 47, 263-291.

Kast, F.E. & Rosenzweig, J.E. (1985) "Organization and Management: a Systems and Contingency Approach". Ed. McGraw-Hill. Nueva York. (4ª ed.).

Keeney R.L. & Raiffa, H. (1976 y 1993). "Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs", Willey, Nueva York. (1ª edición) y Ed. Cambridge University Press (2ª edición)

Keeney, R.L. (1980) "Decision Analysis in the Geo-technical and Environmental Fields", en Sjoberg, L., Tyszka T. & Wise, J.A. (eds), "Human Decision Making". Ed. Bodafors, Doxa.

Kenzner, H. (2001) "Project Management. A system Approach to Planning, Scheduling and Controlling". Ed. Van Nostrand Reinhold.

Lee, J.W., Kim, S.H. (2001) "An integrated approach for interdependent information system project selection". *International Journal of Project Management*, 19, 111-126.

León, O. (1993) "Análisis de decisiones. Técnicas y situaciones aplicables a directivos y profesionales". Ed. McGraw-Hill.

Lichtenstein, S., Fishhoff, B., Phillips, L.D. (1982). "Judged Frequency of Lethal Events". *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 4, 551-578.

Marcus, T.a. (1973) "Optimisation by evaluation in the appraisal of building", en "Value in Building", Hutton, G.H & Devonhald, A.D.G. (eds). Ed. Applied Science Publishers. Pag. 82-111.

McCartt, A. & Rohrbough, J. (1989) "Evaluating Group Decision Support System Effectiveness: A Performance Study of Decision Conferencing", *Decision Support Systems*, 5, 243-253.

Mears, P. (1995) "Quality Improvement Tolls & Techniques". Ed. McGraw-Hill.

Meehl, P.E. (1957) "When Shall We Use our Heads instead of the Formula?", *Journal of Counselling Psychology*, 4, 268-273.

Morgan, G. (1986) "Images of Organization". Ed. Sage.

Moutinho, L. & Paton, R. (1988) "Exper Systems: A New Tool in Marketing", *Quarterly Review of Marketing*, 13, 5-13.

Murphy, A.H. & Brown, B.G. (1985) "A comparative Evaluation of Objective and Subjective Weather Forecasts in the United States", en Wright, G. (ed.). *Behavioural Decision Making*, Ed. Plenum.

Oliver, R.M. & Smith, J.Q. (1990) "Influence Diagrams, Belief Nets and Decision Nets". Ed. Wiley.

Phillips, L.D. (1982) "Requisite decision modelling: a case study". *Journal of Operational Research Society*, 33, 303-311.

Phillips, L.D. (1984) "A theory of requisite decision models". *Acta psicologica*, 56, 29-48.

Phillips, L.D. (1989) "People Centered Group Decision Support". En "Knowledge-Based Management Support Systems". Doukidis, G., Land, F. Y Miller, G. (eds). Ed. Ellis Horwood. Pp. 208-224

Payne J.W. (1982) "Contingent Decision Behaviour", *Psychological Bulletin*, 92, 382-402.

---

Payne, L.W., Bettman, J.R. & Jonhson, E.J. (1993) "The Adaptive Decision Maker". Ed. Cambridge University Press.

Pilcher, R. (1992) Principles of Construction Management. Ed. McGraw-Hill.

Rogers, M. (2000) Using Electre III to aid the choice of housing construction process with structural engineering. *Construction Management & Economics*, 18 (3), 333-342.

Plous, S. (1993) "The Psychology of Judgement and Decision Making", McGraw-Hill.

Raiffa, H. (1982) "The Art and Science of Negotiation", Harvard University Press.

Robusté, F. (1987) "Selección de alternativas de transporte con el Proceso Analítico de Jerarquización: Pros y contras". Ed. Universidad de California en Berkeley.

Rogers, M. (2000) Using Electre III to aid the choice of housing construction process with structural engineering. *Construction Management & Economics*, 18 (3), 333-342.

Savage, L.J. (1954) "The Foundations of Statistics". Ed. Willey.

Saaty, T. (1980) "Analitical Hierarquy Process planning, priority setting, resource allocation". Ed. McGraw-Hill.

Saaty, T.L. (1990) "The Analytical Hierarquy Process". Ed. RWS Publications.

Simon, H.A. (1955) A behavioural model of rational choice. *Quarterly Journal of Economics*, 69, 99-118.

Simon, H.A. (1957) "Administrative Behavior". Ed. Macmillan, New York. (2<sup>nd</sup> edición, 1<sup>a</sup> edición en 1947).

Simon, H.A. (1979) "Rational Decision Making in Business Organizations", *American Economical Review*, 69, 493-513.

Slovic, P., Fischhoff, B, Lichstein, S. (1981) "Perceived risk: psychological factors and social implications, The Assesment and Perception of Risk". Ed. Royal Society of London.

Sniezek, J & Buckley, T. (1991) "Confidence Depends on Level of Aggregation". *Journal of Behavioural Decision Making*, 4, 263-272.

Stigum, B.P. & Wenstop, F. (eds) (1983) "Foundations of Risk and Utility Theory with Applications". Ed. Reidel.

Tocher, K.D. (1977) "Planning Systems", *Philosofical Transactions of the Royal Society of London*, A287, 425-441.

Tversky, A. (1972) "Elimination by Aspects: A Theory of Choice". *Psychological Review*, 79, 281-299.

Tversky, A. & Kahneman, D. (1974) "Judgement under Uncertainty: Heuristics and Biases". *Science*, 185, 1124-1131.

Tversky, A. & Kahneman, D. (1982) "Judgements of and by Representativeness". En "Judgement under Uncertainty: Heuristics and Biases", Kahneman, D., Tversky, A., Slovic, P., (eds.). Ed. Cambridge University Press.

Van der Heijden, K. (1996) "Scenarios: the Art of Strategic Conversation". Ed. Wiley,

Von Winterfeldt, D. (1980) "Structuring Decision Problems for Decision Analysis". *Acta Psychologica*, 45, 73-93.

Von Winterfeldt, D. & Edwards, W. (1986) "Decision Analysis and Behavioural Research". Ed. Cambridge University Press.

Von Neumann, J. & Morgenstern, O. (1947) "Theory of games and Economic behavior". Ed. Princeton University Press. (2ª edición).

Watson, S.D. & Buede, D.M. (1987) "Decision Synthesis: The Principles and Practice of Decision Making". Ed. Cambridge University Press.

White, W.W: (1956) "The Organization Man". Ed. Simon and Schuster.

Winkler, R.L. (1972) "An introduction to bayesian Inference and Decision". Ed. Holt, Rinehart & Winston.

Wong, E.T.T. , Norman G. & Flanagan, R. (2000) "A fuzzy stochastic technique for project selection". *Construction Management and Economics*, 18 (4), 407-414.

Wright, G. & Row, G. (1993) "Expert Systems in insurance: Current Trends and an Alternative Scenario". *International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 2, 113-129.