

1 INTRODUCCIÓN

Tanto en la vida real como profesional, nos enfrentamos a muchas situaciones sobre las que elegir entre diferentes alternativas. Como resultado, las personas se ven obligadas a tomar decisiones en gran parte de sus acciones en condiciones de incertidumbre. Por lo tanto, en su nivel más básico, la toma de decisiones puede entenderse como seleccionar lo "mejor" de lo "posible". Sin embargo, dependiendo de lo que sea mejor y lo que sea posible, nos enfrentamos a diferentes situaciones de toma de decisiones.

Cuando nos encontramos ante un problema de toma de decisiones, los agentes involucrados suelen elegir la mejor alternativa en base a un único criterio. Este concepto contradice la realidad cotidiana, tal y como afirmó el galardonado con el premio Nobel de economía Herbert Alexander Simon (1955), el cual sostiene que las organizaciones complejas de hoy, no buscan maximizar una determinada función de utilidad, como por ejemplo maximizar los beneficios; sino que simultáneamente consideran diferentes objetivos, la mayoría de los cuales son incompatibles, de modo que finalmente el objetivo es alcanzar cierto nivel de satisfacción en cada uno de ellos.

En muchos casos, los líderes empresariales y organizacionales, los políticos, los gerentes de proyectos y los profesionales en general deben tomar decisiones difíciles en el curso de su trabajo. Según León (2001), las características de estas decisiones difíciles son:

- Analizar intereses que se encuentran en conflicto.
- Disponer de elementos con cierto nivel de inseguridad e incertidumbre.
- Involucrar a diferentes personas en la decisión.
- Tener elementos fáciles de evaluar y elementos difíciles de evaluar.

Autores como Ríos-Insua et al. (2002) diferencian entre un resultado afortunado y una buena decisión. La primera es más debido al azar, con el riesgo de que el resultado podría ser desafortunado por ser independiente de si la decisión se tomó con mayor o menor calidad. En el caso de una buena decisión, es necesario contar con un conocimiento profundo del problema, reflexionar sobre ello y entenderlo cabalmente. No se puede asumir que una decisión es acertada únicamente por los resultados favorables que pueda haber arrojado con el paso del tiempo. Por el contrario, las consecuencias de la decisión tomada no suelen ser comparables a las que habrían ocurrido si se hubiera tomado una decisión diferente. Por esta razón, es fundamental analizar el proceso de toma de decisiones para asegurar que, con los recursos e información disponibles en ese momento, se tomó la mejor opción posible. En este sentido, se considera una decisión acertada aquella que se toma siguiendo el procedimiento más apropiado. No se puede catalogar una decisión como buena simplemente porque haya tenido

resultados positivos si no se conoce el proceso seguido para tomarla. En general, las características de una buena decisión son las siguientes (León, 2001):

- Es una buena decisión cuando el objetivo a alcanzar ha sido trazado previamente.
- Cuando previamente se ha recopilado toda la información necesaria.
- Cuando se tienen en cuenta todas las preferencias del equipo que toma la decisión.

Tomar decisiones durante la elaboración y ejecución de proyectos de ingeniería, es una actividad básica para que el proyecto pueda desarrollarse. Es por ello que, a lo largo del desarrollo de un proyecto, se enfrentan decisiones complejas que se destacan por su relevancia para el éxito del proyecto. La decisión tomada, junto a diversos puntos de vista o criterios a considerar (contradictorios en muchas ocasiones) conlleva a una elevada responsabilidad al equipo que dirige el proyecto, junto a otros participantes o afectados.

La selección de proyectos ha existido desde hace muchas décadas, particularmente en proyectos con objetivos de maximizar beneficios. En aquellos casos, el análisis se limitaba a elegir el proyecto con los mayores VAN (valor actual neto) o TIR (tasa interna de retorno). En cambio, en aquella época había muchos otros proyectos que necesitaban apoyarse en métodos para la toma de decisiones, y no solo desde una perspectiva económica (Munier et al., 2010).

Los motivos que justifican la atención especial a la hora de decidir entre proyectos son (De Boer, 1989):

- Los proyectos de ingeniería actuales, por su tamaño y complejidad, presentan desafíos significativos en cuanto a la toma de decisiones se refiere.
- En un contexto económico altamente competitivo, las empresas buscan tomar decisiones acertadas entre las opciones disponibles para lograr los mejores resultados posibles.
- Las limitaciones de las personas cuando se enfrentan a tomar decisiones ante problemas complejos. Esto se debe a que la memoria y la atención de las personas es limitada. Además, habitualmente suelen cambiar los valores y las metas planteadas inicialmente, Y suelen ser muy selectivos a la hora de adquirir y procesar la información recibida.
- Está aumentando la responsabilidad de quién es redactan y ejecutan proyectos, como consecuencia del aumento de las exigencias de la legislación, que exige cada vez más calidad y seguridad durante la ejecución del proyecto, tanto en las fases de redacción, ejecución y explotación.

Cualquier problema existe debido a que se da unas circunstancias que lo produce (situación problema). El hecho de solucionarlo, lleva asociada una situación que es deseable (situación objetivo). Para llevar a cabo la solución del problema, hay que emprender acciones que nos permitan ir desde la situación problema a la situación objetivo. Hay situaciones en el que pasar de un problema a unos objetivos cumplidos no es tarea fácil y demandan acciones complejas a proyectar que requieren de un mayor esfuerzo y conocimiento para cumplir con los objetivos (Ayuso & Peña, 2009). La evaluación de alternativas se realiza al proyectar la situación objetivo (Figura 1).

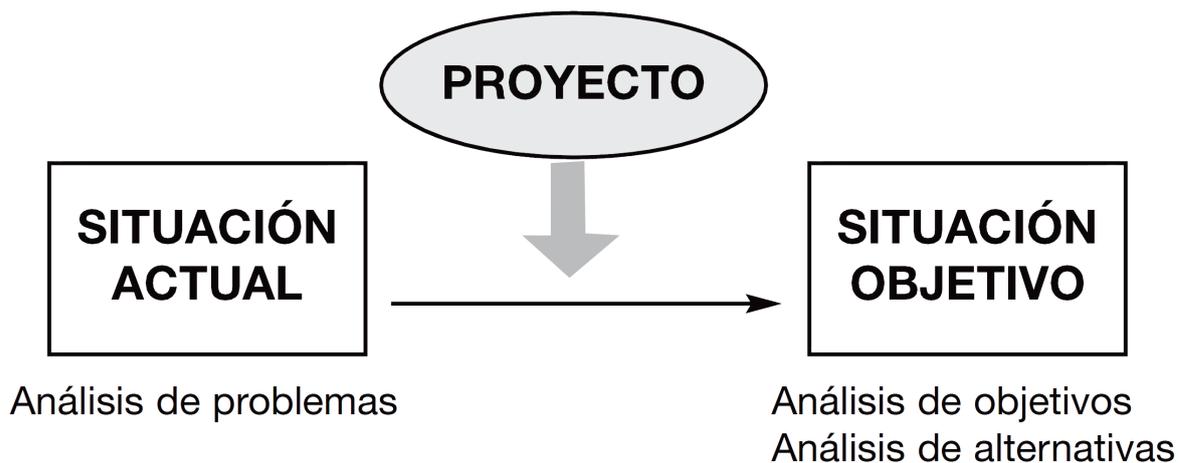


Figura 1. Esquema conceptual de la toma de decisión del proyecto.

Realizar un proyecto consiste en planificar lo que se pretende ejecutar, evaluando todas las alternativas de ejecución, seleccionando la mejor opción que optimice el proceso proyectual. El resultado de este proceso será la solución de proyecto más idónea considerando diferentes perspectivas, ya sean sociales, económicas, ambientales o técnicas.

Los proyectos de ingeniería resuelven problemas de muy diversa índole, pero que tienen en común el hecho de tener que elegir la mejor alternativa de entre todas las posibles, y esta elección debe estar basada en base a varios criterios (Romero, 1993).

La selección de proyectos que mejor cubra las necesidades y exigencias de los interesados, implica decidir en base a distintos criterios asociados a fenómenos no relacionados entre sí, pero con impactos similares sobre las alternativas a evaluar (Munier et al., 2010). Algunos de estos pueden ser criterios técnicos económico-financieros, ambientales, sociales, administrativo-legales, etc.

Una vez seleccionado el mejor proyecto a realizar, será necesario decidir entre alternativas diferentes a lo largo de todas las fases del ciclo de vida (Romero, 1993). Así, por ejemplo, durante la elaboración de un proyecto, suele ser necesario seleccionar alternativas de localización, distribución en planta, plan

productivo, dimensión y diseño, tecnología, tiempo de ejecución, impacto ambiental, etc. Una buena evaluación y selección de alternativas durante las fases del ciclo de vida de los proyectos, deben estar basadas en todos los criterios que puedan influir sobre la decisión final.

La Figura 2 muestra el ciclo del proceso de selección de alternativas de tipos de proyectos, y una vez seleccionado el proyecto a ejecutar, el ciclo del proceso de selección de alternativas del proyecto seleccionado.



Figura 2. Procedimiento cíclico para evaluar y elegir entre diversas alternativas de proyectos y de alternativas del proyecto seleccionado.

Previo a la toma de decisiones del tipo que sea, se deben recopilar y evaluar hechos, conocimientos y experiencias en relación con el problema a resolver. La toma de decisiones suele depender de la experiencia previa del tomador o en casos similares que hayan resultado exitosos en el pasado, en lugar de emplear un método o herramienta sistemática para enfrentar la situación. En este contexto, el análisis multicriterio de decisiones (MCDA) surge como una herramienta valiosa para asistir al decisor en el proceso de toma de decisiones.

El análisis de decisiones multicriterio implica una serie de técnicas, conceptos y métodos destinados a ayudar a decidir, teniendo en cuenta distintos puntos de vista (criterios en conflicto) y diferentes partes interesadas (Belton y Stewart, 2002).

La decisión multicriterio es una disciplina que afronta la solución de un problema de forma ordenada y sistemática. Además, facilita la participación de todas las partes implicadas en la decisión, suministrando información y ayudando a afrontar un problema complejo de forma más racional, dando lugar a un mejor consenso a la hora de tomar la decisión aún problema complejo que tiene una gran componente de subjetividad.

En los apartados siguientes se desarrollarán los conceptos básicos de la evaluación unicriterio y multicriterio. Además, se expondrán los métodos más conocidos en la toma de decisión de proyectos.

2 ORIGEN HISTÓRICO DE LA DECISIÓN MULTICRITERIO

La selección de proyectos desarrollados entre finales del siglo XIX y principios del XX, tenían mayoritariamente el objetivo del beneficio económico. En el pasado, la elección de proyectos se reducía a seleccionar aquel que ofrecía el mayor beneficio económico, basándose en indicadores económicos tales como el VAN, la TIR, etc. En cambio, en aquella época había otros proyectos en los que era fundamental tomar una decisión de selección, no solo buscando mayor beneficio económico como una única herramienta de decisión, sino que se necesitaba considerar otros criterios de decisión más integral, según sus objetivos y finalidad.

El tema de la toma de decisiones multicriterio tuvo su origen debido a dos fenómenos a nivel mundial, que produjeron impactos similares, aunque no estaban relacionados entre ellos (Munier et al., 2010).

El primero se produjo hace varias décadas con el aumento del transporte aéreo de pasajeros, que redujo drásticamente los viajeros que utilizaban el ferrocarril como medio de transporte a larga y media distancia. La falta de pasajeros desencadenó el cierre y suspensión de cientos de miles de líneas férreas, con el consiguiente cierre y clausura de estaciones, muchas de ellas con más de un centenar de años y ubicadas en la zona central de ciudades importantes. El abandono de estas estaciones, originó su deterioro y la ocupación de gentes sin hogar y el desarrollo de negocios ilegales, etc. Además, en las zonas circundantes de estas estaciones, se produjo la clausura de hoteles y otros grandes negocios vinculados al tránsito ferroviario de pasajeros. Esta situación dio como consecuencia el deterioro evidente en los años 80 del centro de ciudades tan importantes como Los Ángeles, París, Buenos Aires, Vancouver, Toronto, Singapur, etc. (Munier et al., 2010).

El segundo fenómeno fue el auge del transporte por carretera de mercancías en contenedores, que produjo la decadencia del transporte marítimo. En este caso, la cancelación de actividades en los puertos marítimos desencadenó el cierre de puertos y muelles por falta de demanda. El abandono de estas infraestructuras marítimas, produjo el efecto llamada de personas indigentes y sin hogar que buscaban refugio (Munier et al., 2010).

Los ayuntamientos de estas grandes ciudades de todo el mundo, tuvieron que buscar alternativas de solución a los puertos y ferrocarriles ocupados. Las alternativas de uso de esos terrenos eran elevadas (edificios para oficinas y viviendas, universidades, hoteles, industrias tecnológicas, etc.), cada una de ellas con sus ventajas e inconvenientes. Por tanto, era prioritario tomar decisiones basadas en análisis multifactoriales (Munier et al., 2010).

Pese a que esta situación ocurrió hace ya décadas, actualmente aún no se ha solucionado completamente el problema en muchas de estas ciudades, debido a que no se utilizaron herramientas y métodos adecuados a la toma de decisión multicriterio. Las primeras iniciativas para solucionar esta problemática surgieron a mediados del siglo XX en Estados Unidos. Las primeras investigaciones se enfocaron en la creación de programas informáticos y programación lineal para la solución de problemas multiobjetivo, pero los resultados de aquellos trabajos no tuvieron mucha aceptación.

Las primeras investigaciones relacionadas con los métodos de decisión multicriterio comenzaron a partir de los años 50, teniendo un gran desarrollo en los últimos 20 años. Los primeros trabajos los publicaron Carnes, Cooper y Ferguson a finales de los años 50. Éstos primeros trabajos tuvieron un enfoque teórico, y no fue hasta 1972 donde se consolidaron y publicaron trabajos más concretos en la I Conferencia Mundial sobre Toma de Decisiones Multicriterio. Este primer congreso fue el punto de partida del desarrollo científico de esta metodología.

Entre la primera publicación teórica y la I Conferencia Mundial sobre Toma de Decisiones Multicriterio, surgió la primera propuesta del método ELECTRE en 1966 publicada por Benayoun, Roy y Sussman; y que Roy (matemático de origen francés) mejoró y optimizó en 1971. El método ELECTRE propuesto en aquella época desarrollaba la resolución multicriterio con un enfoque muy novedoso, basado en comparativas binarias entre alternativas, aplicando la relación de sobre clasificación entre ellas, y cuyos resultados buscan clasificar las alternativas estudiadas en un conjunto inicial de alternativas más favorables (núcleo del grafo) y otro conjunto de alternativas menos convenientes para el equipo encargado de la toma de decisiones.

El matemático de origen francés Bernard Roy se considera el padre de la escuela francesa que se denominó "*Ciencia de Ayuda a la Decisión Multicriterio*" (MCDA "*Multicriteria Decisión Aid*"). Esta perspectiva novedosa se aleja de la escuela teórica sobre la decisión multicriterio con el enfoque más clásico. La nueva escuela de Roy perseguía desarrollar la ciencia de la decisión multicriterio,

tal que ayudase a alcanzar soluciones complejas de un modo sencillo y satisfactorio. Años más tarde, al método ELECTRE original, se le aplicaron una serie de variantes, dando como resultado la familia de los métodos ELECTRE (I, II, III, IV, IS, TRI, ...). Al conjunto de estos métodos se les denominó "*métodos de sobreclasificación*" ("*outranking methods*").

En los años 70, científicos de Estados Unidos afrontaban las mayores discusiones asociadas a los métodos de decisión multicriterio. En aquella época se planteaba la posibilidad agregar en cada criterio las preferencias de las personas implicadas en la toma de decisión mediante una función "*suma*" única, y a la que se le denominó función utilidad global. Este nuevo enfoque de solución del problema dio como resultado la Teoría de la Utilidad Multiatributo (MAUT) y fue el origen de la programación matemática multiobjetivo (Keeney y Raiffa, 1976).

A partir de la mitad de los años 70, la ciencia asociada a la toma de decisiones mediante métodos multicriterio fue en aumento, siendo durante el transcurso de la década de los 80, donde surgen propuestas de multitud de métodos. Uno de estos métodos que a adquirido mayor relevancia en la actualidad fue el propuesto por el americano y profesor de estadística Thomas L. Saaty en 1977 y 1980, denominado "*Proceso Analítico Jerárquico*" (AHP). Este método se fundamentaba en la relación de preferencias entre alternativas comparadas dos a dos. Este método tuvo un amplio desarrollo en la década de los 90, con multitud de aplicaciones en distintos campos de la ciencia.

Años más tarde, Saaty (1980), creó un sistema que se fundamenta en preferencias entre pares de alternativas, el cual ha tenido una gran evolución y numerosas aplicaciones en diversos ámbitos. En la década de los 80, otro método destacado fue el desarrollado por Brans (Brans et al., 1985), el cual se basó en las ideas de Roy y dio origen al método PROMETHEE, que también ha sido ampliamente empleado y aceptado en diversas áreas de la actividad humana.

En 1986, Pareto introdujo un criterio de optimalidad. Él consideró que un colectivo de personas está en su estado óptimo, siempre que ninguna de las personas que lo forman puede mejorar su situación, a cambio de empeorar la situación a otra persona del colectivo. Según Pareto, cuando diferentes actores económicos toman decisiones que se encuentran en conflicto entre ellas, estos agentes no encontrarán una única solución de máxima satisfacción para todos ellos y que satisfaga al máximo. Esto se debe a que los recursos son limitados, y, por lo tanto, lo que gana un agente, lo hace a cambio de lo que otro deja de ganar. La mejor solución será aquella solución que tenga la máxima satisfacción de todos los agentes implicados al mismo tiempo. A esta situación se le llamó "*óptimos de Pareto*". A raíz de este enfoque propuesto por Pareto, surgieron los métodos de decisión multicriterio, los cuales perseguían satisfacer al mayor número de agentes implicados en una decisión económica, teniendo en cuenta que hay que alcanzar un equilibrio entre los intereses de cada uno de ellos, y que en ocasiones estos intereses son contrarios entre los diferentes agentes.

A comienzos de la década de los 90, ya se podían identificar tres enfoques claramente diferenciados dentro de las investigaciones relacionadas con la toma de decisión. Estos enfoques eran: la *del constructivismo*, la *axiomática* y la *del realismo*. La primera tiene en cuenta las individualidades del equipo que toma la decisión y la posibilidad de que la información asociada al problema a solucionar puede variar durante el proceso de decisión. La *vía axiomática* persigue alcanzar unos axiomas o principios fundamentales en la decisión, tal que se alcance la verdad basado en un razonamiento lógico. Finalmente, la *vía del realismo* considera la existencia de una cierta realidad que debe ser descubierta por el investigador (decisor), sin importar cuánto conocimiento se tenga sobre esa realidad.

En 1992 las Naciones Unidas organizaron "La Cumbre de la Tierra" en la ciudad de Rio de Janeiro. En aquella cumbre participaron 172 países con el objetivo de establecer unas normas fundamentales para reducir el ritmo de destrucción de la naturaleza del planeta. De aquella cumbre salió el compromiso de los países participantes en aplicar medidas para proteger el medio ambiente en todo el mundo. Este compromiso se formalizó en una serie de directivas denominadas Agencia 21.

Unos años más tarde, en Europa se formalizaron los compromisos de Aalborg, que se consideraron el pistoletazo de salida para que todos los países se comprometieron a realizar proyectos de gran envergadura para reducir el daño ambiental y el cambio climático. La selección de este tipo de proyectos hizo que se consideraran, además del criterio económico, otros criterios fundamentales como el medioambiental, el social, el de sostenibilidad, etc. Muchos de estos criterios debían de aplicarse dentro de unos umbrales máximos y mínimos. Este hecho no se había contemplado anteriormente en los métodos de evaluación multicriterio, en donde no se contemplaban límites máximos y mínimos de aplicación en los criterios. Esto provocó un nuevo enfoque en los métodos de decisión multicriterio que tuvo que ser resuelto por la comunidad científica en esta materia (Munier et al., 2010).

A finales de la década de los 90, la ciencia asociada a los métodos de evaluación multicriterio trascendieron al ámbito de la enseñanza, y se extendió al ámbito empresarial y al público en general.

Actualmente, estos métodos se utilizan en multitud de ámbitos y con diferentes finalidades y objetivos. Así, por ejemplo, es muy habitual utilizar estas técnicas para seleccionar alternativas de proyectos de ingeniería, seleccionar entre diferentes localizaciones y ubicaciones de proyectos, seleccionar entre diferentes estrategias empresariales, etc. No obstante, pese a lo avanzado que se encuentra actualmente esta ciencia y estos métodos, todavía quedan muchos aspectos a mejorar que requieren de investigaciones futuras.

3 PARADIGMA DEL ANÁLISIS DE DECISIONES

El paradigma simple del análisis de decisiones descrito por Keeney y Raiffa (1976) se puede descomponer en un proceso de cinco pasos.

Pre-Análisis: Suponemos que hay un tomador de decisiones unitario que está indeciso sobre qué curso de acción debe tomar en un problema de elección dado. Se ha identificado el problema y se dan las alternativas de acción viables.

Análisis Estructural: El tomador de decisiones estructura la anatomía cualitativa de su problema. ¿Qué opciones de acción puede tomar ahora? ¿Qué opciones se pueden aplazar para más adelante? ¿Cómo se pueden condicionar las elecciones posteriores a la información aprendida en el camino? ¿Qué experimentos se podrían realizar? ¿Qué información se puede recopilar a propósito y qué se puede aprender de cualquier manera?.

Esta mezcla se pone en un paquete ordenado por medio de un árbol de decisión (Figura 3). El árbol de decisiones tiene ciertos nodos en los que la elección de una rama está bajo el control del equipo encargado en tomar las decisiones (es decir, los nodos representados con cuadrados en la Figura 3) y otros nodos que no están bajo su control total (es decir, los nodos representados con círculos en la Figura 3). Nos referiremos a estos dos tipos como nodos de decisión y nodos de azar.

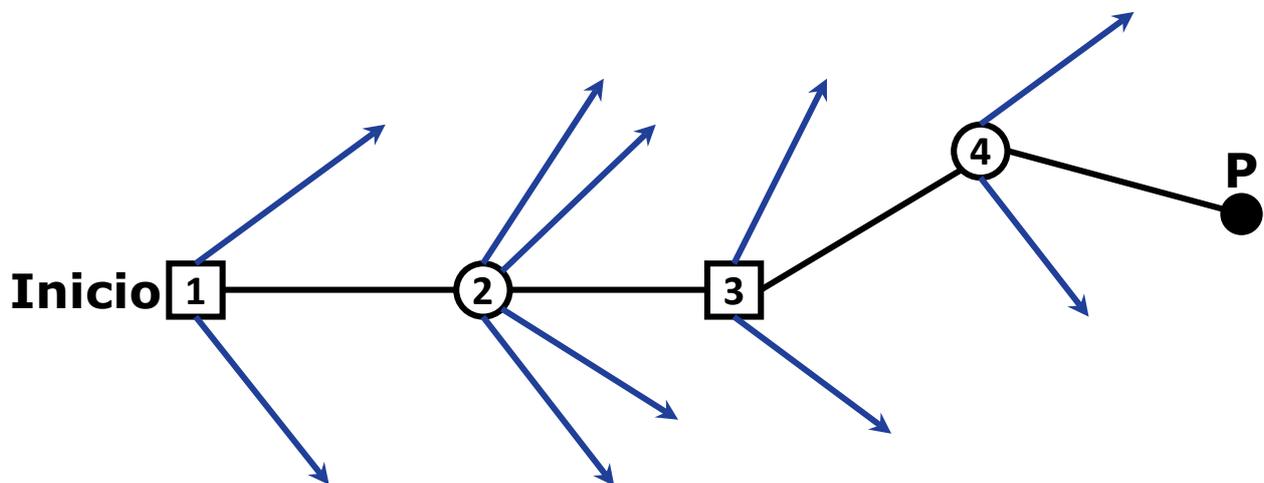


Figura 3. Esquema de un árbol de decisión. Los nodos 1 y 3 son nodos de decisión. Los nodos 2 y 4 son nodos aleatorios.

Análisis de Incertidumbre: El tomador de decisiones asigna probabilidades a las diferentes ramas que emanan de los nodos aleatorios.

Estas asignaciones se hacen utilizando una combinación ingeniosa de varias técnicas y procedimientos basados en datos empíricos pasados, en suposiciones alimentadas y resultados tomados de varios modelos estocásticos y dinámicos,

en testimonios de expertos (debidamente calibrados, con suerte, para tener en cuenta las idiosincrasias personales), y sesgos resultantes de posiciones de conflicto de intereses), y en los juicios subjetivos del tomador de decisiones. Las asignaciones deben ser vigiladas por consistencias internas.

Para que no haya alguna confusión resultante del árbol de decisión esquemático especial de la Figura 3, notamos aquí que incluimos la posibilidad de que ciertos nodos de azar puedan tener un conjunto de resultados representados por un continuo en un espacio singular o de mayor dimensión.

Análisis de utilidad o valor: el tomador de decisiones asigna valores de utilidad a las consecuencias asociadas con los caminos a través del árbol. En la Figura 3 se muestra un camino posible (desde "inicio" hasta el punto marcado como P). En un problema concreto, asociado con este camino, habría varios costes y beneficios económicos y psicológicos para quienes deben tomar las decisiones, así como para otros a quienes las personas que toman las decisiones desean considerar en la caracterización de su problema de decisión. La gestalt¹ se captura conceptualmente al asociar con cada camino del árbol una consecuencia que describe completamente las implicaciones de ese camino. Entonces se requiere que el tomador de decisiones en esta fase del análisis para registrar sus gustos para todas las posibles consecuencias en términos holísticos.

Análisis de optimización: después de que el tomador de decisiones estructura su problema, asigna probabilidades y asigna utilidades, calcula su estrategia óptima, la estrategia que maximiza la utilidad esperada. Esta estrategia indica lo que debe hacer al comienzo del árbol de decisión y qué elección debe tomar en cada nodo de decisión al que pueda llegar en el camino. Hay varias técnicas que un analista puede emplear para obtener esta estrategia óptima, pero la más simple es el algoritmo de programación dinámica habitual de promediar y plegar hacia atrás.

4 CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE DECISIÓN

A continuación, se describen los conceptos y definiciones básicas y fundamentales para entender el significado y alcance de un proceso de toma de decisiones basada en el análisis multicriterio.

Para ilustrar los conceptos básicos que se expondrán en este apartado, utilizaremos el siguiente ejemplo: se pretende fabricar contenedores para transportar frutas y hortalizas. El objetivo del fabricante es reducir al máximo los costes de producción y el peso de los contenedores. Los materiales que tienen

¹ *Gestalt: Sustantivo que significa 'configuración' 'forma' o 'figura'. La psicología de la Gestalt es una escuela de origen alemán dedicada al estudio de la percepción de las cosas.*

menor peso son los que tienen el mayor coste; por tanto, el equipo decisor se encuentra ante un conflicto entre ambos objetivos (menor peso y menor coste).

Unidad decisora, centro decisor o equipo decisor: Persona o conjunto de personas responsables de decidir (Ríos et al., 1989). En nuestro ejemplo, la unidad decisora podría tratarse del equipo de personas que desarrollan el contenedor. En proyectos de ingeniería era habitual que la decisión la tomara un proyectista individualmente. En cambio, en la actualidad, las decisiones en este tipo de proyectos suelen tomarlas diferentes agentes de distinta índole. Por este motivo, actualmente se tiende a delegar la toma de decisiones a equipos formados por profesionales especializados en diferentes ámbitos y disciplinas.

Analista: persona que pertenece al equipo decisor, que analiza la situación concreta sobre la que se va a tomar la decisión (problema, mejora, etc.), que participa en la decisión final realizando recomendaciones lo más objetivas posibles, evitando opiniones personales.

Contexto o ambiente del proceso de decisión: cualquier proceso de decisión se va a producir dentro de un contexto al que llamaremos ambiente o entorno. El ambiente o entorno estará determinado por un conjunto de atributos y propiedades que le son inherentes (Ríos et al., 1989).

Atributo: los atributos son los valores que utiliza el equipo decisor para solucionar un problema. Estos atributos deben ser medibles y valorables de forma independiente a los deseos o prioridades del equipo decisor. Además, es importante que los atributos que se consideren en la toma de decisiones se puedan expresar como una función de las variables utilizadas por el centro decisor. En el ejemplo del diseño de un contenedor, el peso y el coste son los atributos. La optimización de los atributos asociados a la mejor decisión debe estar basada en los objetivos que persigue el equipo decisor, por tanto, la idea de atributo está relacionado con el concepto de objetivo.

Objetivo: Los objetivos hacen referencia la dirección que deben tener los atributos considerados en la decisión, orientados hacia su mejora. Mejorar un atributo puede ir en el sentido de «*augmentar el mejor atributo*», en este caso estaríamos en un proceso de maximización del atributo. Por el contrario, el proceso de minimización de un atributo hacer referencia a «*reducir el atributo mejor*». Algunos ejemplos de maximización y minimización de objetivos serían: maximizar la eficiencia de un proceso, minimizar los costes de producción, etc. La expresión de maximización y minimización de objetivos sería: $\text{Max } f(x)$ o $\text{Min } f(x)$. En nuestro ejemplo, la eficiencia de los dos objetivos es el de minimizarlos (menos del mejor atributo) y en el objetivo se debe decidir cuál de los dos atributos habría que minimizar. En este caso, el concepto de objetivo está vinculado al de meta, ya que en la optimización se podría plantear la minimización del coste como objetivo principal.

Meta: Nivel de aspiración mínimo que un atributo debe alcanzar.

Nivel de aspiración: logro aceptable a considerar en un atributo. La **meta** es el nivel de aspiración que le corresponde a un atributo para considerar que ha sido alcanzado. En nuestro ejemplo, un peso máximo de 100 kg del contenedor podría ser la meta. La expresión matemática en este ejemplo sería: $f(x) \leq 100$. Hay casos en el que el equipo decisor quiere conseguir el grado de aspiración, y no le interesa alcanzar valores superiores o inferiores al nivel exacto de aspiración. La expresión matemática para este caso sería del tipo: $f(x) = t$, donde t = nivel de aspiración.

Así, por ejemplo, un sistema o producto puede tener como **atributo** la fiabilidad, y el **objetivo** sería aumentar esta fiabilidad, mientras que la meta sería alcanzar un nivel de fiabilidad (**nivel de aspiración**) igual o superior a un nivel predefinido (Romero, 1996).

Criterio: Los criterios son las metas, objetivos o atributos relevantes en la resolución de un problema decisional. Por tanto, es un término que incluye los tres conceptos previamente mencionados. La evaluación multicriterio consiste en investigar y analizar problemas que implican tomar decisiones con diferentes metas, objetivos o atributos.

Pesos: Las ponderaciones o pesos de los criterios son el nivel de importancia o preferencias relativas que estos criterios tienen para el equipo decisor. Cada criterio va a tener su valor de peso correspondiente, y se le asigna un vector pesos del tipo $[w] = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ al conjunto de los criterios, siendo "n" el número de criterios. En la resolución de problemas multicriterio es habitual que el peso de los criterios, y, por tanto, la importancia relativa de estos criterios para el equipo decisor, sea distinta. No obstante, esto no quiere decir que criterios con menor peso, no deban ser considerados en el proceso de evaluación. La asignación de pesos suele realizarse aplicando diferentes métodos, que desarrollaremos en el apartado 13.2.3.

Restricciones: Limitaciones asociadas a la solución de un problema, debido a la existencia de condicionantes y recursos limitados. Tomar decisiones se basa en elegir la mejor solución de entre todas las posibles soluciones. La obtención del conjunto de soluciones viables para resolver un problema se logra al aplicar las restricciones a un conjunto de todas las alternativas. Este conjunto de soluciones posibles puede ser discreto (existe un número finito de soluciones factibles) o de tipo continuo (existen infinitas soluciones factibles).

Alternativas o decisiones posibles: Las alternativas posibles son un conjunto finito de opciones que pueden ser aplicadas en la resolución de un problema de decisión. Estas opciones pueden incluir proyectos de solución, decisiones, acciones o estrategias, entre otros. Este conjunto de alternativas son definidas por el equipo decisor y son comparadas por el equipo decisor para tomar una decisión de solución al problema. El número de alternativas puede ser discreto (numerable) y se identifica como $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, \dots, A_i\}$, siendo A_i ($i = 1, 2, 3, 4, \dots, m$) las posibles alternativas. Por otro lado, el número de

alternativas puede ser continuo (no numerable), donde lo formarán un conjunto infinito de alternativas posibles.

Este conjunto A deberá estar formado por distintas alternativas diferenciadas claramente entre ellas. Además, estas alternativas deberán ser excluyentes entre ellas, ya que la elección de una, excluye la posibilidad de escoger cualquier otra del conjunto. Finalmente, las alternativas del conjunto A serán exhaustivas debido a que, una vez definido, este conjunto supone todo el universo y la dimensión de la decisión. El hecho de que el conjunto A lo formen alternativas exhaustivas, excluyentes y diferentes; hace que el equipo decisor no pueda escoger una combinación mixta de dos o más alternativas. Tampoco podrá seleccionar una alternativa que no esté incluida en el conjunto A. En el supuesto que el equipo decisor incorpore una nueva alternativa, es necesario definir un nuevo conjunto de alternativas y comenzar de nuevo el proceso de evaluación.

Solución eficiente o Pareto eficiente: una solución se considera eficiente cuando es factible de solucionar el problema, y no se puede encontrar otra solución que mejore un atributo sin empeorar el resto (Romero, 1993).

Problema de tomar decisiones mediante evaluación multicriterio: escoger entre varias opciones basadas en diferentes criterios es un problema complejo en la toma de decisiones. El hecho que los criterios de decisión estén en conflicto entre ellos, obliga a encontrar una solución de compromiso para solucionar el problema. Esta solución nunca será completa desde todos los puntos de vista. Una solución puede ser buena bajo unos puntos de vista, en cambio, puede no serlo para otros (mala o peor que otra posible solución). Por tanto, seleccionar una alternativa de solución de compromiso que sea mejor que el resto desde todos los puntos de vista, es una tarea compleja, y, en muchos casos, muy difícil de encontrar (Aragonés y Gómez-Senent, 1997).

5 CLASIFICACIÓN DE LAS DIFICULTADES EN LA DECISIÓN

Los problemas de decisión se pueden clasificar en base a diferentes factores, como el contexto ambiental en el que se presentan las alternativas, las características del equipo encargado de decidir, la naturaleza de las opciones disponibles y la cantidad de criterios a evaluar. A continuación, desarrollaremos esta clasificación de los problemas de decisión.

5.1 SEGÚN EL ESTADO DEL ENTORNO DE LAS ALTERNATIVAS

Según el estado del entorno donde se desarrollen las posibles alternativas, las decisiones del centro decisor pueden ser:

Decisiones con certidumbre: cuando la información de las alternativas es conocida, las decisiones se tomarán bajo certidumbre. En este caso, las

alternativas no tienen probabilidad de que ocurran imprevistos desconocidos, o el riesgo es muy bajo y las consecuencias no afectan a la solución.

Decisiones con riesgo de incertidumbre: cuando no es conocida toda la información de las alternativas, suelen tomarse decisiones con incertidumbre. Cuando ocurre esto, las alternativas llevan asociadas cierto grado de probabilidad de que ocurran imprevistos desconocidos, con consecuencias negativas sobre la solución del problema.

5.2 SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DECISOR

En función de las disciplinas y áreas de conocimiento que estén implicadas en tomar la decisión, las características del equipo decisor se pueden clasificar en:

Unixperto: cuando el equipo encargado en tomar la decisión incluye a una sola persona o entidad (física o jurídica).

Multiexperto: cuando el equipo encargado en tomar la decisión incluye a más de una persona o entidad (física o jurídica). En la actualidad, este equipo decisor multidisciplinar es compuesto por profesionales de áreas muy diferentes. Estos son los más habituales en los procesos de toma de decisiones multicriterio. Todos los miembros del equipo decisor multiexperto están interesados en adoptar una única solución, a través de un proceso de decisión que considere los intereses y las opiniones de todos los miembros del grupo.

5.3 SEGÚN LA NATURALEZA DE LAS ALTERNATIVAS

El hecho de que el número de alternativas sea finito o infinito va a depender de la naturaleza de las propias alternativas. La naturaleza de las alternativas pueden ser de tipo discreto o continuo:

Discreto: cuando el número de alternativas se encuentran dentro de un conjunto finito y numerable de valores, se dice que las alternativas son de tipo discreto.

Continuo: cuando el número de alternativas se encuentran dentro de un conjunto infinito y no numerable de valores, se dice que las alternativas son de tipo continuo. Es decir, entre dos posibles alternativas, existe un conjunto infinito de posibles alternativas. Este tipo de decisiones suelen estar asociadas a trabajos científicos, en donde se busca optimizar valores de determinados parámetros.

5.4 SEGÚN LA CANTIDAD DE CRITERIOS CONSIDERADOS

En función del número de criterios a tener en cuenta por el equipo encargado de tomar la decisión, los métodos de decisión pueden ser:

Unicriterio: Decisiones que se toman teniendo en cuenta un único criterio.