



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Programa de Posgrado en Ciencias de la Administración**

**Facultad de Química**

# **T E S I S**

**Modelo de selección de técnicas de evaluación Multicriterio. Un enfoque de planeación para el desarrollo sustentable**

**Que para obtener el grado de:**

**Maestro en Administración /Administración Industrial**

**Presenta: Tomás Freire Cruz**

**Tutor: Dr. Raúl Valdieso M.**

**México D.F., febrero del 2012**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| Dr. Raúl Valdivieso Martínez         | Presidente |
| M. en C. Francisco Rangel Rodríguez  | Secretario |
| Dra. Hérica Sánchez Larios           | Vocal      |
| M. en A.I. Ernesto Fernández Morales | Suplente 1 |
| M. en A.I. Alejandro Zanelli Trejo   | Suplente 2 |

Lugar donde se realizó la Tesis: Posgrado en Administración (Industrial), Facultad de Química

## **TUTOR DE TESIS**

Dr. Raúl Valdivieso Martínez

---

FIRMA

*A Estefanía y María Eduarda*

## AGRADECIMIENTOS

Realizar una tesis es tarea demandante y en muchas formas compleja, y sin lugar a duda difícilmente realizable sin el apoyo de grandes mentes y enormes corazones. A lo largo de este tiempo de trabajo he tenido la dicha de contar con la compañía y apoyo de muchas personas valiosas, de seguro bastantes más de las que pueda mencionar en este agradecimiento. A todas ellas les extiendo mi gratitud y consideración. Muchas gracias por sus enseñanzas, sostén, paciencia, presión y confianza o simplemente por haber estado presentes todo este tiempo.

A todos mis compañeros y amigos de la Maestría en administración Industrial que con su apoyo y amistad desinteresada hicieron de este tiempo lejos de casa un ciclo fascinante de mi vida.

A mis maestros que con su entrega, dedicación y pasión, me inspiraron y alentaron para seguir adelante, gracias no solo por transmitir su conocimiento sino también por su amistad y consejo.

A mi familia por el apoyo, la paciencia y la comprensión, por hacer de mí el hombre que soy.

A todos Gracias.

Tomás F.

## RESUMEN

La propuesta aquí presentada pretende ampliar el conocimiento respecto a las técnicas de análisis Multicriterio considerando en el enfoque propuesto el proceso de planeación organizacional bajo un esquema globalizado en el que la toma de decisiones evalúa alternativas con criterios divergentes que apuntan al desarrollo de las actividades humanas en todos los niveles a considerar sus políticas, planes, reglamentos viendo hacia un horizonte donde las operaciones se den en un marco de total sustentabilidad, al margen de los beneficios o repercusiones a nivel organizacional que este enfoque traiga consigo; el hito más próximo para lograr este avance es la consideración e innovación científica y metodológica en materia de evaluación de alternativas para de este modo garantizar decisiones razonadas y educadas donde tanto las fuentes de riesgo como los interesados en la problemática particular de cada organización son mejor conocidas y sus preferencias consideradas durante el proceso decisorio, para lo anterior y dada la naturaleza misma del Desarrollo Sustentable se hace necesario considerar las alternativas metodológicas que mejor se apliquen a la realidad empresarial.

La selección de los criterios de evaluación de alternativas durante el proceso decisorio es un punto crítico que evoca la necesidad de plantear un protocolo basado en el conocimiento, tanto científico/técnico como en el de los aspectos particulares de cada giro empresarial. Sobre lo anterior en esta tesis se presenta una propuesta metodológica basada en técnicas tradicionales de la administración como diagramas de Causa-Efecto y análisis de Pareto, como en técnicas de análisis Multicriterio como AHP para seleccionar los criterios de evaluación de mayor trascendencia en el ámbito del Desarrollo Sustentable.

Los procesos decisivos y de planeación a nivel organizacional difícilmente son acciones unipersonales, en este sentido la propuesta aquí presentada pretende servir de apoyo; en especial cuando se trata de recoger los criterios y preferencias de cada uno de los actores involucrados en el proceso. Para ello se incluye en este trabajo se modelo un caso hipotético de aplicación donde se simularon grupos de decisión con distintos enfoques; integrados por alumnos del programa de Maestría en Administración Industrial MAI-UNAM.

La metodología que se propone pretende brindar mayor visibilidad de las características propias de cada alternativa, que generalmente se caracterizan por cierto grado de heterogeneidad, lo que implica que difícilmente se puede encontrar un óptimo absoluto, en respuesta a ello se propone jerarquizar el universo de alternativas o caminos de acción, para posteriormente examinar cual alternativa conviene más a los objetivos de la empresa.

## SUMMARY

The methodological proposal presented here aims to extend the knowledge about Multicriteria Analysis techniques in the proposed approach considering the organizational planning process under a global scheme in which decision making evaluates alternatives with differing criteria focused on the development of human activities in all levels to consider their policies, plans, and regulations, looking a horizon where the operations occurring within a total framework of sustainability, regardless of the benefits or impacts at the organizational level bring this approach, the next milestone to achieve this development is the consideration of scientific and methodological innovation in evaluation of alternatives to thereby ensure reasoned and educated decisions where the sources of risk as those interested in particular problems of each organization are better known and their preferences considered during the process decision-making to the above and given the nature of Sustainable Development is necessary to consider alternative methodologies that best apply to business reality.

The selection of criteria for evaluation of alternatives during the decision process is critical that evokes the need to establish a protocol based on knowledge, both technical/scientific and the particular aspects of each business approach. On the above in this thesis presents a methodology based on traditional management techniques such as cause-effect diagrams and Pareto analysis, as in Multicriteria analysis techniques such as AHP to select the evaluation criteria of greater importance in the field of Sustainable Development.

Decision-making and planning process at the organizational level are hardly one-man action in this regard, the methodological proposal presented here is intended to support, especially when it comes to gather the opinions y preferences of each of the actors involved in the process. This is included in this paper we model a scenario where the simulated application decision groups with different approaches, built by students of Industrial MBA program MAI-UNAM.

The proposed methodology aims to provide greater visibility of the characteristics of each alternative, which is generally characterized by a degree of heterogeneity, meaning that you can hardly find an absolute optimum in response to this proposed rank the universe of alternatives or courses of action to further examine which alternative is best for the objectives of the company.

## LISTA DE ABREVIATURAS

|           |  |
|-----------|--|
| AHP       | Proceso Analítico Jerárquico ( <i><u>A</u>nalytic <u>H</u>ierarchy <u>P</u>rocess</i> )  |
| SP        | Planeación por Escenarios ( <i><u>S</u>cenario <u>P</u>lanning</i> )   |
| CDS       | Comisión para el Desarrollo Sustentable (Naciones Unidas)  |
| CR        | <u>C</u> ontexto <u>R</u> eal (Refiriéndose al estado de la naturaleza futuro, que es el escenario que se intenta representar)   |
| ELECTRE   | ( <i><u>T</u>he <u>E</u>limination <u>E</u>t <u>C</u>hoix <u>T</u>raduisant la <u>R</u>ealite</i> )  |
| MACBETH   | ( <i><u>T</u>he <u>M</u>easuring by a <u>C</u>ategorical <u>B</u>ased <u>E</u>valuation <u>T</u>echnique</i> )   |
| MAVT      | Teoría de Valor Multi-atributo ( <i><u>M</u>ulti-<u>A</u>tttribute <u>V</u>alue <u>T</u>heory</i> )  |
| MAUT      | Teoría de la Utilidad Multi-atributo ( <i><u>M</u>ulti-<u>A</u>tttribute <u>U</u>tility <u>T</u>heory</i> )  |
| MCD A     | En este trabajo se utilizará esta Abreviatura para denotar el Análisis Multicriterio para Toma de Decisiones, se incluyen en esta terminología las acepciones del idioma inglés siguientes: <i><u>M</u>ulticriteria <u>D</u>ecision <u>A</u>nalysis</i> y <i><u>M</u>ulticriteria <u>D</u>ecision <u>A</u>id</i> . |
| PROMETHEE | ( <i><u>P</u>referente <u>R</u>anking <u>O</u>rganization <u>M</u>ethod for <u>E</u>nrichment <u>E</u>valuations</i> ),  |
| RF        | <u>R</u> epresentación <u>F</u> ormal (del modelo decisorio)   |
| UNESCO    | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura   |



## CONTENIDO

|   |     |
|---|-----|
| AGRADECIMIENTOS.....  | ii  |
| RESUMEN .....   | iii |
| SUMMARY .....   | iv  |
| LISTA DE ABREVIATURAS.....  | v   |
| LISTADO DE FIGURAS.....   | ix  |
| LISTADO DE TABLAS.....  | xii |
| INTRODUCCIÓN .....  | 1   |
| EL CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN.....                                | 1   |
| OBJETIVOS.....  | 3   |
| ALCANCE .....   | 3   |
| HIPÓTESIS.....  | 4   |
| ESTRUCTURA DEL TRABAJO.....   | 4   |
| IMPORTANCIA DE LAS DECISIONES .....                                 | 6   |
| TIPOS DE DECISIONES.....  | 7   |
| ENFOQUES DEL PROCESO DECISORIO.....                                 | 10  |
| EL ANÁLISIS MULTICRITERIO (MCDA).....                               | 12  |
| CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....  | 12  |
| LA ROBUSTEZ EN EL ANÁLISIS DECISORIO .....                          | 19  |
| EVOLUCION DE LAS METODOLOGIAS MCDA .....                            | 20  |
| LA ESCUELA AMERICANA.....   | 21  |
| ESCUELA EUROPEA .....   | 22  |
| DESARROLLO DEL CONCEPTO .....                                       | 24  |
| PROBLEMA CONCEPTUAL DEL DESARROLLO SUSTENTABLE .....                | 24  |
| MEDIDA DE LA SUSTENTABILIDAD.....                                   | 34  |
| INDICADORES.....  | 36  |
| INTEGRACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES COMO CRITERIOS DE DECISIÓN..... | 40  |

|   |    |
|---|----|
| DIMENSIONES DE LA SUSTENTABILIDAD .....                                     | 44 |
| INDICADORES SOCIALES .....  | 45 |
| INDICADORES ECONÓMICOS .....  | 46 |
| INDICADORES AMBIENTALES .....   | 47 |
| INDICADORES INSTITUCIONALES .....   | 49 |
| EL PROCESO DE PLANEACIÓN .....  | 50 |
| PLANEACIÓN POR ESCENARIOS .....   | 50 |
| LA VENTAJA COMPETITIVA .....  | 54 |
| CARÁCTER MULTICRITERIO DE LA PLANEACIÓN.....                                | 55 |
| LA DECISIÓN EN EL PROCESO DE PLANEACIÓN .....                               | 56 |
| EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS .....  | 56 |
| CARÁCTER DINÁMICO DE LA PLANEACIÓN.....                                     | 58 |
| INTEGRACIÓN DE PLANEACIÓN POR ESCENARIOS Y MCDA .....                       | 58 |
| TÉCNICAS DE APOYO PARA LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO .....            | 60 |
| NOCIONES PREVIAS.....   | 61 |
| CARACTERIZACIÓN DE LA TÉCNICA AHP .....                                     | 63 |
| CARACTERIZACIÓN DE LA TÉCNICA PROMETHEE.....                                | 73 |
| INFORMACIÓN ENTRE LOS CRITERIOS.....  | 74 |
| CLASIFICACIÓN I Y II DE PROMETHEE.....                                      | 79 |
| EL MÉTODO GAIA.....   | 82 |
| SOFTWARE DECISION LAB .....   | 85 |
| VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE PROMETHEE.....                                    | 85 |
| OTROS ENFOQUES METODOLÓGICOS .....  | 86 |
| ENFOQUE GOODWIN & WRIGHT.....   | 86 |
| PLANEACIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... | 90 |
| DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA .....   | 91 |
| CRITERIOS TRADICIONALES DE EVALUACIÓN .....                                 | 92 |

|   |     |
|---|-----|
| ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO (CBA) .....            | 92  |
| ESTRUCTURACIÓN DE LA PROPUESTA .....            | 95  |
| DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN ..... | 96  |
| PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS.....               | 100 |
| CASO DE APLICACIÓN .....                        | 101 |
| GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS Y ESCENARIOS .....   | 123 |
| EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....             | 125 |
| CASO DE APLICACIÓN .....                        | 127 |
| CONCLUSIONES DEL CASO DE APLICACIÓN .....       | 159 |
| CONCLUSIONES .....                              | 161 |
| RECOMENDACIONES.....                            | 162 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                              | 164 |

## LISTADO DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1. Contexto de la Investigación.....   | 2   |
| Figura 2. Clasificación de las Decisiones.....                                      | 8   |
| Figura 3. Algunos enfoques del Proceso Decisorio.....                               | 10  |
| Figura 4. Sistema Presión-Estado-Respuesta .....                                    | 38  |
| Figura 5. Relaciones de dominancia de un problema Multicriterio .....               | 61  |
| Figura 6. Matriz de decisión MCDM .....   | 65  |
| Figura 7. Estructura Jerárquica AHP .....   | 66  |
| Figura 8. Función de Preferencia en PROMETHEE, [117] .....                          | 75  |
| Figura 9. Índices de Preferencia Agregados [117] .....                              | 80  |
| Figura 10. Relaciones de PROMETHEE I [117] .....                                    | 81  |
| Figura 11. Representación del Plano GAIA .....                                      | 84  |
| Figura 12. Estructura de Objetivos para el Árbol de Valores.....                    | 87  |
| Figura 13. Esquema general de la propuesta metodológica .....                       | 96  |
| Figura 14. Propuesta de Selección de los criterios .....                            | 97  |
| Figura 15. Identificación de criterios .....  | 98  |
| Figura 16. Ejemplo de Estructura Preliminar de Criterios .....                      | 99  |
| Figura 17. Esquema de la Fase 2: Ponderación de Criterios.....                      | 100 |
| Figura 18. Aplicación de la Revisión Bibliográfica.....                             | 102 |
| Figura 19. Estructuración de la técnica <i>Brainstorming</i> .....                  | 103 |
| Figura 20. Diagrama de Causa-Efecto, Ishikawa [134] .....                           | 105 |
| Figura 21. Diagrama Causa-Efecto. Cambio Climático.....                             | 106 |
| Figura 22. Diagrama Causa-Efecto. Biodiversidad.....                                | 107 |
| Figura 23. Diagrama Causa-Efecto. Consumo de recursos y generación de desechos..... | 107 |
| Figura 24. Diagrama Causa-Efecto. Riesgos medioambientales.....                     | 108 |
| Figura 25. Diagrama Causa-Efecto. Bienestar de la Comunidad .....                   | 109 |
| Figura 26. Diagrama Causa-Efecto. Seguridad.....                                    | 109 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 27. Diagrama Causa-Efecto. Valor Social y Cultural.....   | 110 |
| Figura 28. Diagrama Causa-Efecto. Gestión y Financiamiento.....  | 110 |
| Figura 29. Dimensiones de sustentabilidad para el caso de estudio.....   | 113 |
| Figura 30. Estructura preliminar de criterios.....   | 115 |
| Figura 31. Generación de Alternativas y Escenarios .....   | 124 |
| Figura 32. Fase de Evaluación de Alternativas .....  | 127 |
| Figura 33. VPN para Escenario Pesimista (E1) .....   | 141 |
| Figura 34. TIR para Escenario Pesimista (E1).....  | 141 |
| Figura 35. VPN para Escenario Posible (E2).....  | 142 |
| Figura 36. TIR para Escenario Posible (E2).....  | 142 |
| Figura 37. VPN para Escenario Optimista (E3).....  | 143 |
| Figura 38. TIR para Escenario Optimista (E3) .....   | 143 |
| Figura 39. VPN para Escenario Combinado .....  | 144 |
| Figura 40. TIR para Escenario Combinado.....   | 144 |
| Figura 41. Pantalla de <i>Decision Lab</i> con la alimentación de información del modelo .....                               | 145 |
| Figura 42. Clave de Colores .....  | 146 |
| FIGURA 43. Clasificación PROMETHEE 1 para el escenario E1 .....  | 146 |
| Figura 44. Clasificación Completa PROMETHEE 2 para el escenario E1 .....   | 146 |
| Figura 45. Eje de Preferencia del centro decisor para E1.....  | 147 |
| Figura 46. Distribución de importancia entre los criterios de evaluación para todos los escenarios .....                     | 147 |
| Figura 47. Distribución de importancia por eje de desarrollo en sistema de evaluación propuesto para el caso de estudio..... | 147 |
| Figura 48. Plano GAIA (E1).....  | 148 |
| Figura 49. Importancia Porcentual por eje de Desarrollo y Rendimiento de cada alternativa .....                              | 149 |
| Figura 50. Comparativa de rendimientos entre A y C para el Escenario E1 .....  | 149 |
| Figura 51.PROMETHEE I para escenario E2 .....  | 150 |
| Figura 52. PROMETHEE II para Escenario E2 .....  | 150 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 53 Eje de preferencias del centro decisor para escenario E2.....                           | 150 |
| Figura 54 Plano GAIA (E2).....  | 151 |
| Figura 55 Comparativo alternativas A y C por eje de desarrollo (E2).....                          | 151 |
| Figura 56. Comparativo entre alternativas A y C por criterio de evaluación (E2) .....             | 152 |
| Figura 57. Jerarquización PROMETHEE I para E3 .....   | 152 |
| Figura 58. Jerarquización PROMETHEE II para E3 .....  | 153 |
| Figura 59. Eje de preferencia para E3.....  | 153 |
| Figura 60. Plano GAIA para E3 .....   | 153 |
| Figura 61. Comparativo entre alternativas A y C por eje de desarrollo (E3) .....                  | 154 |
| Figura 62. Comparativo entre alternativas A y C por criterio de evaluación (E3) .....             | 154 |
| Figura 63. Jerarquización PROMETHEE I para E4 .....   | 155 |
| Figura 64. PROMETHEE II para E4.....  | 155 |
| Figura 65. Eje de preferencia para E4.....  | 155 |
| Figura 66. Plano GAIA para E4 en función de los ejes de desarrollo .....                          | 156 |
| Figura 67. Plano GAIA para E4 representado por los ejes de cada escenario .....                   | 156 |
| Figura 68. Intervalos de Estabilidad para el Escenario Combinado E4.....                          | 157 |
| Figura 69. Jerarquización PROMETHEE I para E4 <sub>2</sub> .....                                  | 157 |
| Figura 70. PROMETHEE II para E4 <sub>2</sub> .....  | 158 |
| Figura 71. Plano GAIA para E4 <sub>2</sub> en función de los ejes de desarrollo sustentable ..... | 158 |
| Figura 72. Plano GAIA para E4 <sub>2</sub> , formado por los ejes de escenario .....              | 159 |

## LISTADO DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Matriz de valoración ( $X_{ij}$ ).....   | 18  |
| Tabla 2. Clasificación de los Indicadores propuestos por la CDS de acuerdo a su categoría .....                         | 44  |
| Tabla 3. Indicadores Sociales para el Desarrollo Sustentable .....  | 45  |
| Tabla 4. Indicadores Económicos para el Desarrollo Sustentable .....  | 46  |
| Tabla 5. Indicadores Ambientales para el Desarrollo Sustentable .....   | 47  |
| Tabla 6. Indicadores Institucionales para el Desarrollo Sustentable.....  | 49  |
| Tabla 7. Tabla de evaluación de problemas multicriterio .....   | 61  |
| Tabla 8. Escala de Importancias para el Método AHP, Saaty [25].....   | 67  |
| Tabla 9. Índice de Consistencia Aleatoria (ICA) .....   | 72  |
| Tabla 10. Pesos de relativa importancia PROMETHEE .....   | 74  |
| Tabla 11. Criterio Usual .....  | 76  |
| Tabla 12. Función <i>U-Shape</i> .....  | 77  |
| Tabla 13. Función <i>V-Shape</i> .....  | 77  |
| Tabla 14. Función por Niveles .....   | 78  |
| Tabla 15. Criterio <i>V-Shape</i> con áreas de Indiferencia.....  | 78  |
| Tabla 16. Clasificación y Puntuación de las combinaciones Escenario/Estrategia para dos objetivos organizacionales..... | 87  |
| Tabla 17. Asignación de Pesos y Clasificación para las relaciones de rendimiento para alcanzar los objetivos .....      | 88  |
| Tabla 18. Rendimiento de la estrategia Status Quo ( $\alpha_i$ ) en el Escenario Mail Mountain ( $S_1$ ) .....          | 88  |
| Tabla 19. Calificación Agregada para todas las combinaciones Escenario/Estrategia .....                                 | 88  |
| Tabla 20. Dimensiones de los criterios, Identificadas en base a la literatura científico-técnica .....                  | 102 |
| Tabla 21. Dimensiones de los criterios, Identificadas en base a la revisión de la normativa y legislación .....         | 103 |
| Tabla 22. Criterios obtenidos del ejercicio de Tormenta de Ideas .....  | 104 |
| Tabla 23. Dimensión de los criterios en base al proceso <i>Brainstorming</i> .....                                      | 105 |
| Tabla 24. Lista de criterios obtenidos de Diagramas Causa-Efecto .....  | 111 |
| Tabla 25. Dimensión de los criterios. Diagramas Causa-Efecto.....   | 112 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 26. Escalas de importancia en <i>Expert Choice</i> .....  | 114 |
| Tabla 27. Lista preliminar de criterios .....   | 116 |
| Tabla 28. Matriz de juicios 1. Comparaciones por pares de criterios.....  | 118 |
| Tabla 29. Variaciones porcentuales del modelo de simulación por método Montecarlo.....                                  | 119 |
| Tabla 30. Matriz de juicios 2. Comparaciones por pares de criterios (simulación) .....                                  | 120 |
| Tabla 31. Importancia cuantificada de los criterios preliminares .....  | 121 |
| Tabla 32. Sistema de criterios y ponderaciones .....  | 122 |
| Tabla 33. Funciones de preferencia PROMETHEE .....  | 126 |
| Tabla 34. Identificación de la aplicabilidad de los criterios en la evaluación de las alternativas .....                | 128 |
| Tabla 35. Criterios de evaluación y sus pesos correspondientes aplicables al proceso decisorio del caso de estudio..... | 130 |
| Tabla 36. Evaluación Financiera para Escenario Pesimista (E1) .....   | 140 |
| Tabla 37. Evaluación Financiera para Escenario Posible (E2) .....   | 142 |
| Tabla 38. Evaluación Financiera para Escenario Optimista (E3).....  | 143 |
| Tabla 39. Evaluación Financiera para Escenario Combinado .....  | 144 |



# CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es servir de introducción a la presente investigación. Durante su desarrollo se expone el contexto, alcance, objetivos y estructura del trabajo.

- El contexto consta de una descripción del marco referencial en el que se desarrolla el propósito de la investigación, de modo que sirva para entender por qué se ha planteado este tema como avance en el conocimiento.
- En el apartado referente al alcance se definen los límites del objeto de la investigación, separando los aspectos que quedan dentro del estudio de aquellos que se proponen para futuros trabajos.
- En lo referente a los objetivos, se especifican aquellos de carácter general que se pretendan alcanzar a lo largo del trabajo
- Finalmente, se describe la estructura y contenido del trabajo, que ayudará a situar al lector a lo largo del desarrollo de la exposición.

## INTRODUCCIÓN

La planificación tanto para los individuos como para las organizaciones juega un papel trascendental para asegurar la elección de la mejor alternativa para identificar sus objetivos y la manera en que se los ha de alcanzar, en este sentido muchas organizaciones realizan procesos de planeación, sin embargo en ocasiones estos procesos están vagamente concebidos y ejecutados, son esquemas poco creativos y difícilmente adaptables a un entorno donde el cambio y la innovación son la regla; entornos con políticas y reglamentaciones tanto más estrictas como multifactoriales en los que las metodologías de evaluación basadas en enfoques Costo-Beneficio no son suficientes para valorar con integridad criterios que no son únicamente cuantitativos, con una importancia inequitativa y/o que no necesariamente llevan direcciones similares. Para que un proceso de planeación sea exitoso, debe proveer las herramientas para la toma de decisiones y un modelo en relación al cual, dichas decisiones puedan ser evaluadas y sustentadas [1]. Con estos antecedentes es natural pensar en alternativas para atacar esta incompatibilidad entre los criterios a ser evaluados y las metodologías tradicionales para aplicarlos.

## EL CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

El impacto de las operaciones humanas en el medio ambiente es innegable, es así que a partir de la década de 1970, la humanidad inicia un proceso de concientización de los impactos producidos por sus acciones a lo largo del tiempo, especialistas señalaron la evidente pérdida de la biodiversidad y se concibieron teorías para explicar la vulnerabilidad de los sistemas naturales, es así que el término desarrollo sustentable, sustentable o perdurable fue formalizado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y se aplica al desarrollo socio-económico [2]. Como parte de la Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sustentable se expresa lo siguiente:

“...asumimos la responsabilidad colectiva de promover y fortalecer, en los planos local, nacional, regional y mundial, el desarrollo económico, desarrollo social y la protección ambiental, pilares interdependientes y sinérgicos del desarrollo sustentable.” [3], este concepto multidimensional requiere un marco de trabajo participativo, en las que las decisiones sean fundamentadas considerando la pluralidad de términos en los que se basa el análisis de las implicaciones de la planeación; más allá de una evaluación en términos de valor. Las técnicas de ayuda a la decisión con un enfoque Multicriterio se aproximan a esta problemática proponiendo modelos descriptivos, posibilidad de contrastar alternativas que presentan una heterogeneidad de escalas de valoración en sus criterios (fundamentalmente valores cualitativos y cualitativos), pluralidad de criterios de preferencia y opinión, y adicionalmente evita el reduccionismo en los modelos de decisión producto de la posibilidad de uso de diferentes lenguajes técnicos en un entorno multidisciplinario.

Este entorno lleva a las empresas a la necesidad de operar en forma de organizaciones más ágiles y flexibles que le permitan trabajar de manera más competitiva para sus clientes e innovar mediante el desarrollo o mejora de procesos.

En el proceso de planeación la toma de decisión es una actividad intelectual esencial, sin la cual las organizaciones no pueden progresar. Durante el desarrollo de un proyecto por ejemplo se toman decisiones complejas; esta complejidad está marcada por el entorno de incertidumbre en el que se desarrollan, así mismo esta incertidumbre abarca las posibles implicaciones, debido a las responsabilidades que ello implica para los proyectistas o directores de proyecto, por los agentes implicados o afectados por la decisión adoptada y por los diferentes criterios o puntos de vista que hay que considerar y que a menudo están en conflicto.

Las organizaciones industriales necesitan desarrollar mejores métodos y herramientas para evaluar la actuación de sus proyectos o alternativas. Es este contexto en el que se desarrolla el presente trabajo de investigación.

El contexto de esta investigación puede sintetizarse mediante la Figura 1

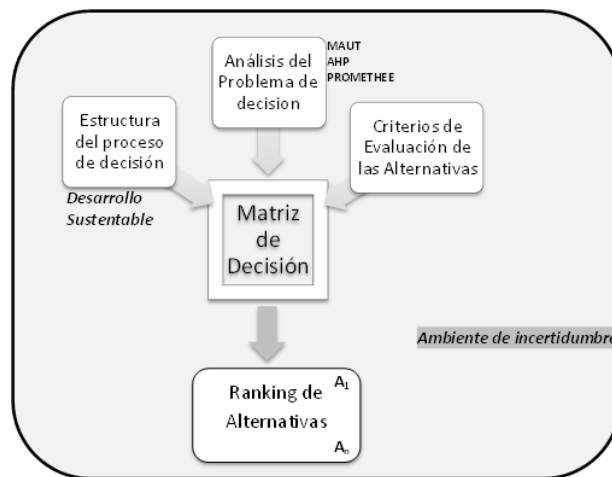


Figura 1. Contexto de la Investigación

Esta investigación se articula en torno a cinco factores:

- La estructuración de los problemas de decisión, con el establecimiento final de la matriz de decisión que será objeto de estudio.
- El análisis del problema de decisión mediante la aplicación de metodologías de decisión, en este estudio se considera principalmente las técnicas AHP y PROMETHEE, así como una aproximación a la Planeación por Escenarios (SP).
- Los criterios de evaluación de las alternativas; para el caso de esta investigación, se hace especial énfasis en los criterios determinados por un enfoque para el Desarrollo Sustentable.
- El ambiente donde se desarrollan los problemas de decisión, como se ha comentado cada vez es más complejos y cambiante, lo que provoca que la planeación muchas veces se vea envuelta en la incertidumbre e imprecisión.
- Finalmente, la ordenación final de las alternativas o proyectos que serán objeto de estudio.

## OBJETIVOS

El objetivo general de la presente investigación es profundizar en el estudio de la toma de decisión en el campo de la evaluación de alternativas en un entorno incierto; en concreto en el campo de la planeación para el Desarrollo Sustentable.

Aplicar la metodología propuesta en una caso hipotético de aplicación para darle mayor visibilidad ante el lector

Con este propósito se pretende construir una propuesta metodológica basada en la aplicación de las técnicas AHP y PROMETHEE.

Otro objetivo particular del presente trabajo es aplicar la herramienta y las técnicas antes descritas en un caso hipotético (Caso Base) de aplicación, a fin de que el lector pueda apreciar de mejor manera el desarrollo metodológico/practico de las técnicas multicriterio de ayuda a la decisión.

## ALCANCE

Respecto al alcance de este trabajo, cabe resaltar que se enfoca esencialmente en tema de la toma de decisiones. Por consiguiente, no entra dentro del alcance de la presente investigación el análisis de aspectos relacionados con elementos particulares del proceso de planeación en las organizaciones. A pesar de esto, algunos elementos serán considerados y descritos superficialmente a medida en que interaccionen con el tema central de estudio.

Una aportación específica a la teoría general de la toma de decisiones no es la pretensión de esta investigación, la intención general de este trabajo es articular con un enfoque práctico una

propuesta que ayude al analista, al centro decisor, o a quien corresponda a identificar pautas para seleccionar una u otra de las técnicas consideradas para el presente análisis.

Por tanto, el alcance de esta investigación se centra en la toma de decisión considerando en un entorno donde los criterios de evaluación de las alternativas están dictados por la necesidad de planear con mira al Desarrollo Sustentable. Si bien se extenderá el análisis a la simulación de un caso hipotético. El objetivo de esta aplicación es esencialmente mostrar la metodología de las técnicas y la potencialidad de la propuesta de este estudio, y que esto sirva de plataforma para posteriores estudios.

## HIPÓTESIS

Ho: El análisis de los avances técnico/científicos en materia de toma de decisiones a nivel organizacional aunado al conocimiento de los criterios de evaluación en un entorno de desarrollo sustentable, puede ser reflejado en una propuesta metodológica como apoyo a los procesos decisorios, concebida con un enfoque de practicidad y aplicabilidad.

## ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El Capítulo I hace referencia a la estructura, alcance, objetivos y diseño del trabajo de tesis

En el Capítulo II se hace una revisión a través del tiempo de los procesos de toma de decisión; su evolución a través de la inclusión y metodologías para generar mayor robustez en los modelos propuestos. El proceso decisorio en respuesta a la incertidumbre en el proceso de planeación es analizado desde la perspectiva evolutiva y de maduración de los procesos administrativos. La metodología de análisis Multicriterio en general considera que la decisión se ha de tomar por un grupo de decisores también conocidos como *Decision Makers*, en este apartado se consideran algunas particularidades respecto a estos procesos.

El proceso de planeación en las organizaciones es considerado la clave de la supervivencia y fuente de innovación y ventaja competitiva en las organizaciones su importancia y objetivos son descritos en el Capítulo III. Del mismo modo los conceptos de Sustentabilidad y sus relaciones con temas Económicos, Sociales, Ambientales, Políticos y Culturales son analizados con el objeto de comprender las implicaciones que este enfoque provoca en el proceso de planeación.

El Desarrollo sustentable trae consigo dimensiones propias para su evaluación, indicadores y criterios de evaluación; la naturaleza multidimensional de este enfoque obliga a considerar la reformulación de los indicadores de rendimiento tradicionales de las economías, los cuales generalmente son indicadores de orden monetario que en ocasiones no consideran los aspectos sociales y culturales adecuados para la evaluación de alternativas sustentables a seguir, estos enfoques son analizados en el Capítulo IV.

La descripción de las metodologías Multicriterio de ayuda a la decisión, su fundamentación y enfoques más representativos son tratados en el Capítulo V, la identificación de la o las metodologías que mejor convengan para sustentar el proceso de planeación es abordado como el fundamento de la problemática que el presente trabajo intenta atacar con la propuesta de un modelo de selección fundamentado en las particularidades de cada una de las metodologías que se analizan en este estudio.

La caracterización de los criterios de selección es proceso fundamental para evaluar una metodología que sustente el proceso decisorio, las consideraciones adicionales al proceso tradicional de evaluación en la planeación; que son necesarias para establecer políticas y acciones que garanticen el Desarrollo sustentable se presentan en el Capítulo VI. Esta caracterización de requisitos da la pauta para la evaluación de cada una de las metodologías de estudio propuestas en este trabajo.

El Capítulo VI está dedicado a la caracterización de las metodologías AHP y PROMETHEE presentando sus ventajas, desventajas y principalmente se las caracteriza en relación a los criterios de Sustentabilidad propuestos en capítulo anterior.

En el presente trabajo se presente trabajo se pretende presentar una variedad de alternativas, que, en asociación pudieran servir de ayuda para direccionar el aprendizaje y aplicación del conocimiento existente respecto a alternativas en Planeación y Toma de Decisiones bajo incertidumbre

La descripción del producto final de esta investigación: una propuesta metodológica para ayudar en el proceso decisorio está plenamente descrita en el Capítulo VII, en los capítulos siguientes se encuentran las conclusiones de mayor trascendencia obtenidas a lo largo de este trabajo y algunas recomendaciones para trabajos posteriores.

# CAPÍTULO II EL PROCESO DECISORIO

## IMPORTANCIA DE LAS DECISIONES

La toma de decisiones en un entorno de globalidad se vuelve complejo y las consecuencias de las decisiones presentan gran incertidumbre; horizontes de planeación mayores tanto geográfica como temporalmente obligan a tener en cuenta las consecuencias actuales y potenciales de las decisiones [4]. Los enfoques tradicionales para la toma de decisiones bajo incertidumbre requieren información acerca de la preferencia de los valores de los criterios de selección, cómo la combinación de los criterios y las alternativas influyen en los beneficios netos u otras consecuencias.

La capacidad para tomar decisiones acertadas es una tarea clave en cualquier proceso de la organización; en consecuencia, se ha desarrollado un amplio campo de estudio, para desarrollar técnicas y modelos que apoyen estas decisiones dentro de los límites de la racionalidad y de acuerdo a la naturaleza de los riesgos involucrados, este proceso se vuelve aún más complejo al tratar temas delicados en el mundo actual lo son: los impactos ambientales y sociales, reducción de costos, rediseño de instalaciones, responsabilidad social entre otros; propios de un desarrollo en un entorno de conciencia y responsabilidad social, características propias del desarrollo sustentable.

Quién toma la decisión y cómo lo hace, son importantes aspectos que han servido de fundamento para formar sistemas de gobierno, de justicia y de orden social [5]. El estudio de la metodología para la toma de decisiones es una integración de varios campos disciplinarios, tan diversos como las matemáticas, la sociología, la psicología, la economía y las ciencias políticas; por nombrar algunas.

En el entorno actual, donde las decisiones en las organizaciones ya no sólo se limitan a un solo criterio, son grupos interdisciplinarios de expertos, los interesados y los afectados por la decisión los llamados a formar parte en el proceso de discusión de los objetivos, en el análisis y determinación de los criterios y la determinación de su importancia relativa, todo lo anterior en vías de provocar una evaluación de las diferentes opciones o alternativas de acción. Un proceso decisorio grupal incrementa la aceptación de la decisión final, facilitando posteriormente su implementación.

Según León [6], las decisiones difíciles se caracterizan por:

- Poseer elementos fácilmente valorables y elementos difícilmente valorables.
- Observar intereses contrapuestos.
- Tener elementos de incertidumbre.
- Envolver distintas personas en la decisión.

Una buena decisión es a menudo entendida como aquella que, en el transcurso del tiempo ha mostrado consecuencias favorables. Sin embargo, en gran parte de las ocasiones es imposible

comparar las posibles consecuencias que hubiesen ocurrido si la decisión tomada fuese distinta a la elegida originalmente. Es por esto que considerar el proceso mediante el cual una decisión fue tomada es importante para concluir que decisión es preferible adoptar; considerando la información disponible en el momento, los recursos y las técnicas adoptadas para el tratamiento de la información.

En este sentido una buena decisión considera lo siguiente [6]:

- Es una decisión en la que se ha trazado el objetivo que se quiere conseguir
- Se ha reunido toda la información relevante
- Se han tenido en cuenta las preferencias del decisor

La tónica en las organizaciones industriales como en muchas otras áreas, es la de generar proyectos, es por eso que a continuación se citan las diferentes razones que, según De Boer [7], justifican la atención especial que se debe prestar a la toma de decisión en proyectos:

- El incremento de la magnitud de los problemas de decisión como consecuencia del tamaño y complejidad de los proyectos que se desarrollan en la actualidad,
- La necesidad que tienen las empresas de tomar buenas decisiones o tomar la mejor de las decisiones posibles, en un entorno económico cada vez más competitivo, para obtener mejores resultados,
- La limitación de los seres humanos a la hora de enfrentarse a problemas complejos de toma de decisiones. Ello es debido a la limitada capacidad de memoria de atención, a la tendencia a cambiar las metas y los valores y a ser selectivos en la adquisición y procesamiento de información.
- El aumento de la responsabilidad de los proyectistas debido a que cada vez la legislación exige mayor seguridad y calidad en los productos, instalaciones y obras de ingeniería, y por tanto, mayor rigor en los documentos del proyecto y en la dirección de su ejecución.

## TIPOS DE DECISIONES

La clasificación más básica de las decisiones se basa en la naturaleza del evento que las origina. Una decisión programada es aplicada a problemas estructurados o de rutina, para los cuales se puede establecer un método que ayude a decidir. Las decisiones no programadas se usan para situaciones no planeadas, nuevas o mal definidas, de naturaleza no repetitiva, por lo que no es posible establecer métodos para la toma de decisiones. La mayoría de las decisiones no son ni completamente programadas ni completamente no programadas; sino una combinación de ambas. La clasificación de los tipos de decisiones presentados en este apartado es mostrado en la Figura 2.

En función del origen y posibles consecuencias, es posible clasificar las decisiones, de acuerdo a esto, las decisiones pueden ser: operativas, coyunturales<sup>1</sup> y planeadas.

---

<sup>1</sup> Se hace referencia a las decisiones con características contingentes, temporales y cambiantes, pero que en periodos cortos de tiempo pueden ser decisivas.

Las decisiones operativas surgen como consecuencia de situaciones repetitivas, por lo que la información necesaria para tomar la decisión es fácilmente disponible, y los errores pueden corregirse sencillamente ya que su grado de manifestación es el corto plazo.

Las decisiones coyunturales surgen de manera imprevista, son urgentes e inmediatas. Son fuertemente influenciadas por el entorno y se toman con base en la conveniencia y no en métodos, políticas o normas. Rara vez atacan la fuente del problema.

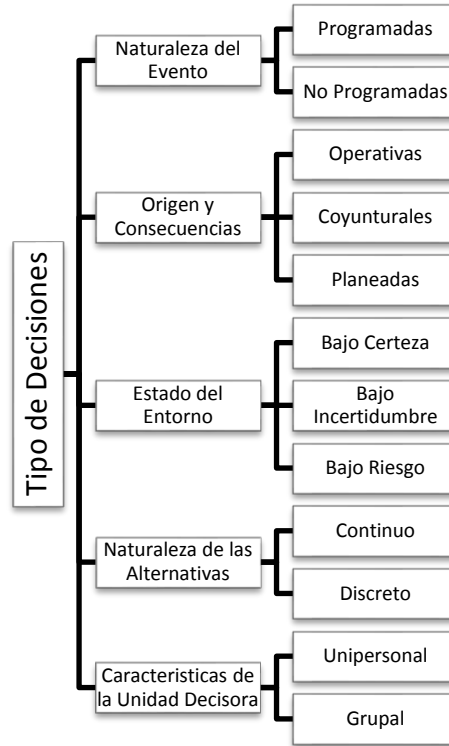


Figura 2. Clasificación de las Decisiones

Por otro lado las decisiones pueden estar determinadas por el estado del entorno, siendo las siguientes:

**Decisiones bajo certeza:** Llamadas también problemas decisorios determinísticos, debido a que son conocidos los estados de la naturaleza<sup>2</sup> y por tanto, los resultados o consecuencias establecidos para cada alternativa y estado de la naturaleza.

<sup>2</sup> En la teoría de las decisiones se denomina “estados de la naturaleza” o simplemente “estados” al número finito de eventos futuros posibles, es decir, un conjunto de escenarios posibles. Las circunstancias en las cuales se toma una decisión se llaman estados de la naturaleza. es un grupo de conjuntos mutuamente excluyentes. Es decir, sólo puede ocurrir un estado de la naturaleza [41]



**Decisiones bajo incertidumbre:** En la cual el decisor se enfrenta a situaciones que nunca han ocurrido y que tal vez no vuelvan a repetirse en el futuro de esta misma forma, no se conocen las probabilidades de ocurrencia de los criterios. No hay información sobre los estados de la naturaleza

**Decisiones bajo riesgo:** Son aquellos en los que existe un factor probabilístico de ocurrencia ligado a los criterios. Se conocen las probabilidades objetivas o subjetivas de los estados de la naturaleza.

Considerando la naturaleza de las alternativas, el método decisorio puede ser considerado:

**Continuo:** Las alternativas pertenecen a un conjunto infinito no numerable. El valor que representa a la alternativa pertenece a la recta real. Este tipo de decisiones son habituales en el ámbito de la ciencia y la técnica, en el que se busca optimizar el valor de un parámetro técnico.

**Discreto:** El conjunto de alternativas es finito.

Finalmente, es posible clasificar a las decisiones en función de las características de la unidad decidora, siendo lo siguiente:

**Uni-personal:** Si la unidad incluye una sola entidad, física o jurídica.

**Grupal:** Si la unidad está formada por más de una entidad. En este caso el decisor es un conjunto de individuos interesados en el proceso de decisión, de tal forma que tienen que adoptar una solución única que refleje globalmente las opciones o intereses del grupo. Este tipo de unidades son cada vez más frecuentes.

En decisiones planeadas se debe considerar, la situación presente, el entorno y un estado futuro deseado. Suelen ser decisiones a largo plazo y tienen un carácter no repetitivo. La información que se tiene para tomar este tipo de decisiones es escasa y los efectos que producen pueden comprometer el desarrollo de la organización y sus objetivos de negocio; por ello, al tomar estas decisiones se requiere un alto grado de reflexión y de juicio por parte del decisor. La planeación es el proceso organizacional que respalda este tipo de decisiones. De ahí la importancia de investigar técnicas y métodos que sirvan de base a este proceso, aunado con la sinergia que se busca al empatar técnicas convencionales ampliamente difundidas como la Planeación por Escenarios (SP) y las técnicas multicriterio de apoyo a la decisión (MCDA).

Las cinco fases del proceso de planeación según Ackoff [8] son:

1. Formulación de la problemática (diagnóstico)
2. Planificación de fines (visión, objetivos, escenarios)
3. Planificación de medios
4. Planificación de los recursos
5. Diseño de la implementación y control

Es entonces en la tercera etapa descrita por Ackoff [8]; Planificación de medios, donde se requiere determinar qué soluciones o acciones son factibles de ser implementadas y cuáles se elegirán de acuerdo con su conveniencia para alcanzar los fines. Esta selección de alternativas puede ser hecha de forma intuitiva basada en la experiencia de él o los encargados de tomar la decisión, o

bien puede estar sustentada en modelos que ayuden a entender mejor la interacción de los elementos presentes en el análisis.

## ENFOQUES DEL PROCESO DECISORIO

En el estudio del proceso decisorio la toma de decisiones algunos enfoques se han integrado en modelos que intentan entender y mejorar el proceso para obtener mejores resultados, muestro es esto son algunos enfoques presentados a continuación en la Figura 3



Figura 3. Algunos enfoques del Proceso Decisorio

**Indagación no formal.** En situaciones relevantes, cuando aún no se tenían herramientas matemáticas que permitieran formalizar un análisis, los hombres recurrían al oráculo, consultaban las estrellas o buscaban señales en la naturaleza que interpretaban como respuestas o pistas respecto a cuándo y qué decisiones tomar.

**Experiencia y razonamiento.** Los primeros pasos hacia el establecimiento de un proceso de toma de decisiones incluyeron el razonamiento acerca de los hechos implicados y las consecuencias de decisiones tomadas en el pasado.

**Formalización matemática y metodológica.** Con el surgimiento de las matemáticas se tuvieron los medios para expresar las variables, relaciones, supuestos, deducciones y derivaciones implicados en los procesos de decisión.

**Probabilidad y riesgo.** Los avances logrados en el estudio de situaciones no determinísticas, para las que su análisis y tratamiento requería del concepto de probabilidad, aportaron un nuevo elemento de estudio en la toma de decisiones: el riesgo.

**Teoría de la utilidad.** Enfoque surgido del ámbito económico, que agrega el concepto de utilidad al estudio de la toma de decisiones, entendido como el grado de satisfacción que se obtiene ante cierto resultado.

**Árboles de decisión.** Se incluye al análisis el aspecto visual, en el cual las opciones o alternativas se representan gráficamente en una estructura arbórea que incluye probabilidades, riesgos y costos.

**Criterios múltiples.** La naturaleza actual de las organizaciones ha hecho necesario involucrar el enfoque sistémico en la toma de decisiones, dando como resultado múltiples técnicas que buscan determinar el mejor curso de acción entre varias alternativas sometidas al escrutinio de diversos criterios en conflicto.

**Lógica difusa.** Enfoque surgido como respuesta a la existencia de ambientes de decisión en los que los objetivos, las alternativas, los criterios y parámetros constituyen clases cuyos límites no están claramente definidos, existiendo transiciones graduales entre la pertenencia o no pertenencia a estas clases.

**Enfoque no racional.** Los desarrollos en esta dirección cuestionan la efectividad de los métodos racionales e involucran el aspecto psicológico, la intuición y la influencia de las creencias y las actitudes en los procesos de toma de decisiones.

Es importante antes de tomar cualquier decisión, considerar los hechos, el conocimiento y la experiencia a fin de evaluar el contexto del problema y elegir el enfoque decisorio adecuado. El proceso de toma de decisiones, normalmente se apoya en la experiencia del decisor o en la semejanza a decisiones anteriormente tomadas, y en pocas ocasiones este proceso se basa en un método sistemático o herramienta de apoyo como medio para ayudar a solucionar disyuntiva. El Análisis de Decisión Multicriterio (en inglés *Multicriteria Decision Analysis*) se presenta como una valiosa herramienta para ayudar al decisor durante este proceso de toma de decisiones. Los métodos propuestos desde este enfoque permiten abordar, de forma sistemática y ordenada, la toma de decisiones donde se presenta un alto grado de subjetividad; ayudan a racionalizar un proceso que por naturaleza es complejo.

En los apartados siguientes se exponen los conceptos básicos del Análisis de Decisión Multicriterio y se presentan algunos de los métodos más conocidos que pueden ser de gran ayuda para el centro decisor o el analista en la difícil tarea de tomar decisiones. Con estas técnicas no se pretende sustituir al decisor en el proceso de toma de decisiones, sino que este, de forma ordenada, sea capaz de determinar sus preferencias mediante una metodología que le aportará información y transparencia.

## EL ANÁLISIS MULTICRITERIO (MCDA)

## CONCEPTOS FUNDAMENTALES

En su enfoque más básico, un proceso de toma de decisión puede concebirse como la elección por parte de un centro decisor (un individuo o un grupo de individuos) de “lo mejor” entre “lo posible”. Los problemas analíticos [9] surgen a la hora de definir “lo mejor” y “lo posible” en un determinado contexto decisonal.

Sin embargo, el anterior no es el único objetivo al que se enfoca el análisis multicriterio; también puede desearse encontrar un grupo de “mejores alternativas” o incluso requerirse un proceso de dos pasos en el cual primero se selecciona un primer “mejor” grupo a partir del cual se selecciona después una sola “mejor” alternativa. Otro tipo de objetivo puede requerir que las alternativas sean ordenadas de la “mejor” a la “peor”. En el campo de las decisiones multicriterio se emplea la palabra problemática para definir qué es lo que se espera obtener del análisis. De manera general existen tres tipos distintos de problemática [10]:

**Problemática de selección ( $P, \alpha$ ).** En este enfoque, el análisis del proceso decisorio está orientado a la selección de un número mínimo de alternativas de acción consideradas adecuadas, de manera tal que finalmente una alternativa sea considerada para su implementación; lo anterior no significa que la selección es necesariamente orientada hacia la determinación de una o todas las alternativas que se llegaran a considerar óptimas, este proceso puede estar considerando la comparación de alternativas para eliminar el mayor número de ellas, si este es el caso, el subconjunto  $N$  de las alternativas seleccionadas por el análisis contiene las que mejor satisfacen los criterios de evaluación, las cuales continúan como no comparables unas de otras.

**Problemática de categorización ( $P, \beta$ ).** La respuesta esperada del proceso de ayuda a la selección está orientado en este caso a la agrupación en categorías predefinidas de cada alternativa evaluada; así mismo las categorías pudieran o no estar asociadas dentro de conjuntos categóricos mayores denominados familias, en todo caso, estas categorías deben ser concebidas en base en distintos tipos de tratamiento o juicios que van de acuerdo a los objetivos que motivan la categorización. Las categorías predefinidas pueden ser ordenadas en función de un sistema ordinal, cardinal o una combinación de ambos.

**Problemática de jerarquización ( $P, \gamma$ ).** El objetivo esperado del análisis es el establecimiento de un pre-orden parcial o completo del conjunto de alternativas  $A$ , el cual puede ser considerado en sí, como un instrumento adecuado para la comparación de alternativas y fundamentar decisiones, este pre-orden es resultado de un procedimiento de clasificación que permite otorgar un valor a cada alternativa considerada, es este valor el criterio que posteriormente permitirá establecer un orden jerárquico.

Es conveniente definir algunos otros conceptos pertinentes a la Teoría de la Decisión, con el objeto de facilitar la comprensión de apartados posteriores.

### DECISOR/A O UNIDAD DECISORA

Individuo o conjunto de individuos que tienen la responsabilidad de tomar la decisión [11]. En ocasiones esta figura también participa como participante en el proceso o grupo de decisión [12]. Existe además el concepto de *Supra Decision Maker* (SDM) [13], esta definición representa al decisor como el representante de los intereses de la organización con la potestad de dictar las reglas de constitución del grupo de participantes en el proceso y las herramientas y técnicas que se han de utilizar.

### ANALISTA

El analista es la persona que modela la situación concreta en análisis, y que eventualmente, hace las recomendaciones relativas a la selección final [12], entre las características críticas que debe poseer según Belton y Hodjkin [12] están el *expertise* o al menos la familiaridad con el método y el software que se ha de utilizar en el proceso. El analista únicamente debe incluir en el modelo las preferencias expresadas por los miembros del grupo de decisión.

### AMBIENTE O CONTEXTO DE LA SITUACIÓN DE DECISIÓN

Se refiere al contexto en cual se desarrolla el proceso decisorio producto de la necesidad de planear [11], este conjunto de características puede influenciar en grado considerable las preferencias o los criterios que se establezcan en el proceso decisorio. Es debido a esto último que se considera un factor clave a considerar cuando se estudia el proceso decisorio, para efectos de la presente investigación, se considerará la influencia del contexto sobre los criterios de evaluación; cuando la decisión es tomada considerando un enfoque hacia el Desarrollo Sustentable.

### ALTERNATIVAS

Soluciones, acciones o caminos a seguir pueden ser considerados como alternativas propuestas por un proceso decisorio, se caracterizan por ser opciones factibles, asequibles, y caracterizadas por su desempeño respecto a los criterios preestablecidos para su evaluación. El conjunto de alternativas está definido como:

$$A = a_1, a_2, a_3, \dots a_n$$

La decisión final en proceso no puede alcanzar mejores resultados que lo que permita la mejor alternativa del conjunto evaluado, esto para los métodos discretos; las tres alternativas metodológicas estudiadas en este trabajo son discretas. Algunas vías para identificar alternativas se listan a continuación:

1. Atender las recomendaciones de expertos en el área problemática que hayan tratado situaciones similares,

2. Utilizar información o evidencias previas para contrastar las problemáticas pasada y actual a fin de identificar posibles alternativas de solución,
3. No dejar de considerar la creatividad y la habilidad colectiva de comités internos formados en la organización para hallar posibles rutas de acción ante la problemática,
4. Considerar las propuestas de los representantes de los sectores participantes o afectados por la decisión en cuestión.

En gran número de técnicas multicriterio de ayuda a la decisión se asume que este conjunto **A** de alternativas está formado por alternativas diferentes, excluyentes y exhaustivas. Diferentes porque cada alternativa está definida de manera tal que es claramente diferenciable del resto; son excluyentes en función de que la elección de una de ellas imposibilita la elección de otra; y finalmente exhaustivas debido a que una vez definido el conjunto **A**, este es el universo de decisión.

### CRITERIOS

Se considera criterios a los aspectos que han de ser considerados para definir la conveniencia o no, de las alternativas. Representan puntos de vista o preferencias del centro decisor, se define el conjunto de criterios como:

$$C = g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$$

El proceso de definición de criterios es fundamental en la toma de decisiones, puede decirse que en la mayoría de casos, resulta un proceso complejo pero necesario. El concepto de criterio a su vez engloba los conceptos de objetivo, atributo y meta [14], estos conceptos son explicados a continuación:

### OBJETIVO

Un objetivo indica el enfoque principal en el que el centro decisorio deberá incluir mayor énfasis durante el proceso. Es un punto prioritario. Ejemplo de un Objetivo en este contexto puede ser, minimizar las descargas contaminantes del proceso de la nueva planta.

### ATRIBUTO

Las características con las que las alternativas son definidas se conocen como atributos, éstos miden el grado de alcance o cumplimiento de un objetivo. Para cada alternativa un grupo de atributos es definido a fin de evaluar las consecuencias de la elección de estas como decisión final en relación con el sistema de preferencias del centro decisor. La medida de los atributos se realiza en relación a una realidad objetiva; pudiendo ser expresados con el empleo de una función matemática de variables de decisión, de modo que cada alternativa se pueda relacionar a un conjunto de medidas en concordancia con los objetivos del decisor. Para aclarar lo anterior se puede citar como ejemplo: el volumen de la erogación monetaria presupuestada para la ejecución de un proyecto que solventa la problemática del proceso de planeación de la organización.

## META

Una meta puede definirse como el valor que cuantifica un nivel de logro de un atributo cuando esfuerzo por alcanzarse se considera aceptable. Ejemplo de lo anterior puede verse en la sentencia siguiente: el presupuesto total para la ejecución de un proyecto que solventa la problemática debe ser inferior a una cantidad  $x$  de dinero.

Por otra parte, los criterios pueden ser cualitativos y cuantitativos, son definidos de acuerdo a los intereses de la organización, que son reflejados en el caso de procesos decisorios en grupo por el *Supra Decision Maker* SDM, para las consideraciones de este trabajo de investigación, se toma como partida lo expresado por *Europe Aid Cooperation Office* [15], respecto a criterios de evaluación de alternativas con un enfoque hacia el Desarrollo Sustentable, estos criterios se agrupan en las siguientes cinco familias:

- Económicos,
- Tecnológicos,
- Medioambientales,
- Sociales u Organizativos,
- Legales y Políticos,

Se considera un criterio  $c$  como una condición que permite evaluar y comparar alternativas; la evaluación de cada alternativa  $a$  ha de considerar todos los efectos debe tomar en cuenta todos los efectos ligados al criterio considerado. Esto se denota como:

$$g(a)$$

Representa el desempeño de la alternativa  $a$  de acuerdo con el criterio  $g$ . Frecuentemente  $g(a)$  es un número real, pero en todos los casos es necesario definir explícitamente el conjunto  $X_g$  de todos los posibles valores que el criterio puede tomar. Los elementos  $x \in X_g$  son llamados grados de la escala. Cada grado puede ser determinado por un número, un enunciado o un pictograma. Cuando para comparar dos alternativas con respecto al criterio  $g$  comparamos los dos grados usados para evaluar sus respectivos desempeños, es importante analizar el significado concreto en términos de las preferencias cubiertas por dichos grados. Esto nos lleva a establecer los siguientes tipos de escalas:

### ESCALA ORDINAL

---

Considerada también como Escala Cualitativa. La fundamental característica que presenta es la distancia entre dos grados no tiene un claro significado de preferencia, caso típico de esto son la Escala Verbal y la Escala Numérica, descritas a continuación:

#### ESCALA VERBAL

Esta se presenta en aquellos casos donde nada permite establecer que un par de grados consecutivos reflejan igual diferencia de preferencia a lo largo de la escala.

### ESCALA NUMÉRICA

Este es el caso donde nada nos permite establecer que un grado de diferenciación de la preferencia clara, y entre dos grados refleja una diferencia de preferencias invariable cuando movemos el par de grados considerados a lo largo de la escala.

Los criterios que se expresan como atributos son aquellos en los que únicamente son posibles dos estados: sí o no; pasan o reprueban; buenos o malos, etc.

Generalmente las variables se representan en una escala numérica. Los atributos se representan con “uno” (pasan) o “cero” (reprueban). Los atributos se pueden subdividir en críticos (el que tiene tanta importancia que si no obtuviera la puntuación “uno” descalificaría a la alternativa, independientemente de cómo sea evaluada para otros criterios) y no críticos (cuando la importancia del criterio es mínima o no exige descalificar la alternativa aun cuando esta no cumpla con dicho criterio)

### ESCALA CARDINAL

---

Considerada como Escala Cuantitativa, es una escala numérica cuyos grados están definidos por valor concreto que da sentido; por un lado, a la ausencia de cantidad (grado 0), y por el otro, a la existencia de una unidad que nos permite interpretar cada grado como la adición de un número dado a tal unidad. En tales condiciones, la proporción entre dos grados puede recibir un significado el cual no depende de los dos grados particulares considerados.

En las técnicas multicriterio es esencial conocer qué tipo de escala se ha de manejar para estar asegurar el correcto uso de sus grados de preferencia. De acuerdo con el tipo de escala considerada, ciertos tipos de razonamientos y operaciones aritméticas son significativos en términos de preferencias.

En algunos procesos de apoyo a la toma de decisiones, uno de los primeros pasos es construir o definir todos los criterios que constituirán la familia de criterios. Para estar seguros que este conjunto de criterios jugará su rol en el proceso de manera correcta, es necesario verificar que:

- El significado de cada criterio es suficientemente entendible por cada uno de los participantes
- Cada criterio es percibido como un elemento de juicio para comparar alternativas a lo largo de la escala asociada a él; sin prejuicio de su importancia relativa, la cual podría variar considerablemente de un participante a otro.
- Todos los criterios considerados satisfacen los requerimientos lógicos de exhaustividad, cohesividad y de no redundancia.

Generalmente se asume que cada criterio puede ser representado por una medida de su desempeño, representada por algunos atributos medibles de las consecuencias de su



implementación. Para conveniencia de la explicación, podemos adoptar el supuesto de que cada alternativa  $a \in A$  puede asociarse a un vector de atributos [16].

$$Z^a = Z_1^a, Z_2^a, Z_3^a, \dots, Z_p^a$$

dónde:

$p$ : es el número de criterios,

$Z_i^a$ : = atributo que representa la evaluación de la alternativa  $a$  de acuerdo con el criterio  $i$ ,

Si para dos alternativas  $a$  y  $b$ :

$$Z_i^a \geq Z_i^b \quad \text{para todo } 1 \leq i \leq p$$

entonces se puede decir que  $Z_i^a$  **domina** a  $Z_i^b$

## PREFERENCIAS

Una etapa fundamental de la ayuda a la decisión es aquella en la cual se tienen en cuenta las preferencias del (o de los) decisor (es) en relación a las alternativas [17]. Las preferencias proveen una guía para entender e incluir en el modelo la importancia relativa de cada criterio. Las preferencias pueden ser modelizadas mediante las siguientes cuatro situaciones caracterizadas a través de relaciones binarias:

**INDIFERENCIA:** “la alternativa  $a$  es indiferente a la alternativa  $b$ ” se denota por  $aIb$ ; La situación de indiferencia corresponde a la existencia de razones claras y positivas que justifican una equivalencia entre las dos acciones. La relación  $I$  es simétrica y reflexiva.

**PREFERENCIA ESTRICTA:** “la alternativa  $a$  es estrictamente preferida a la alternativa  $b$ ” se denota por  $aPb$ , La situación de preferencia estricta corresponde a la existencia de razones claras y positivas que justifican una preferencia significativa de una de las dos alternativas (estando dicha acción identificada). La relación  $P$  es asimétrica e irreflexiva.

**PREFERENCIA DÉBIL:** “la alternativa  $a$  es débilmente preferida a la alternativa  $b$ ” se denota por  $aQb$ ; La situación de preferencia débil corresponde a la existencia de razones claras y positivas que invalidan una preferencia estricta en favor de una de las dos alternativas (estando dicha acción identificada) pero esas razones son insuficientes para deducir bien una preferencia estricta en favor de la otra, bien una indiferencia entre las dos alternativas (esas razones no permiten por tanto aislar una de las dos situaciones precedentes como la única apropiada). La relación  $Q$  es asimétrica e irreflexiva.

**INCOMPARABILIDAD:** “las alternativas  $a$  y  $b$  son incomparables” se denota por  $aRb$ ; La situación de incomparabilidad corresponde a la ausencia de razones claras y positivas que justifiquen una de las tres situaciones precedentes. La relación  $R$  es simétrica e irreflexiva.

**SUPERACIÓN:** “la alternativa  $a$  supera a la alternativa  $b$ ” se denota por  $aSb$ , cuando hay una razón fuerte para creer que respecto a todos los criterios la alternativa  $a$  es al menos tan buena como la alternativa  $b$ , sin ninguna razón que impida llegar a esta conclusión.

### ASIGNACIÓN DE PESOS

Los pesos o ponderaciones son las medidas de la importancia relativa que los criterios tienen para el decisor. Asociado a los criterios, se asigna un vector de pesos  $w = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  siendo  $n$  el número de criterios.

En los problemas de toma de decisión multicriterio es muy frecuente que los criterios tengan distinta relevancia para el decisor, aunque esto no significa que los criterios menos importantes no deban ser considerados. Estas diferencias justifican la existencia de los pesos asociados a los criterios.

### MATRIZ DE VALORACIÓN

Una vez establecidos los criterios y sus pesos asociados, se supone que el decisor es capaz de dar, para cada uno de los criterios considerados y para cada alternativa del conjunto de elección, un valor numérico o simbólico  $x_{ij}$  que expresa un evaluación o juicio de la alternativa  $a_i$  con respecto al criterio  $g_j$ .

Esta evaluación puede ser numérica o lingüística y se puede representar en forma de matriz, denominada matriz de valoración ( $x_{ij}$ ), mostrada en la Tabla 1.

|          | $w_1$    | $w_2$    | ... | $w_n$    |
|----------|----------|----------|-----|----------|
|          | $g_1$    | $g_2$    | ... | $g_n$    |
| $a_1$    | $x_{11}$ | $x_{12}$ | ... | $x_{1n}$ |
| $a_2$    | $x_{21}$ | $x_{22}$ | ... | $x_{2n}$ |
| $\vdots$ |          |          |     |          |
| $a_m$    | $x_{m1}$ | $x_{m2}$ | ... | $x_{mn}$ |

Tabla 1. Matriz de valoración ( $x_{ij}$ )

Cada fila de la matriz expresa valoraciones de la alternativa  $a_i$  con respecto a  $n$  criterios considerados. Cada columna de la matriz recoge las evaluaciones o juicios emitidos por el decisor de todas las alternativas respecto al criterio  $g_j$ .

## LA ROBUSTEZ EN EL ANÁLISIS DECISORIO

Cuando se propone soluciones o se hace recomendaciones a la o las personas encargadas de tomar una decisión, el analista debe basar sus argumentos en modelos. Sin embargo la posibilidad de aproximaciones vagas o la ignorancia sobre el futuro comportamiento de los distintos factores implicados está presente, en consecuencia el modelo tomará en consideración esas desviaciones para brindar soluciones o recomendaciones en las que el riesgo de fallar al planear un futuro se incrementa [18], atender la robustez del modelo significa considerar la solidez del modelo a lo largo de todo el proceso decisorio; es buscar la posibilidad de evitar aproximaciones vagas y zonas de ignorancia, a fin de prevenir impactos indeseados en los modelos. Lo anterior afecta al proceso decisorio de acuerdo a lo expresado por Roy, B en dos niveles:

1. El modelo sobre el cual el proceso decisorio durante la planeación está sustentado, puede no ser lo suficientemente aproximado al contexto en que la decisión se ha de implementar; y
2. El sistema de valores utilizado para concebir y procesar el modelo puede no coincidir exactamente con el sistema de valores utilizado para evaluar esas decisiones.

Estos dos hechos son fuente de los inevitables brechas que existen entre lo que Roy [18] denomina la Representación Formal (RF) y el Contexto Real (CR) [19], en este sentido el autor define a la Representación Formal como el modelo y el procesamiento de la información que se utiliza para resaltar los resultados en que se basa el proceso decisorio y por otra parte, el Contexto Real es definido como el entorno en el cual las decisiones son estructuradas, ejecutadas y evaluadas.

El criterio de optimización se define a menudo como una síntesis primaria de los valores deseados de criterios parciales [19]. Si estos criterios son tomados en consideración en forma diferente al Contexto Real (CR) del modelo, la solución recomendada puede diferir en mayor grado de lo esperado, siendo esta optimización en ocasiones; recomendaciones no viables en un entorno Multicriterio como es el caso del enfoque hacia el Desarrollo Sustentable.

En revisión de la literatura se ha identificado que para asegurar la robustez de los modelos existen dos principales enfoques de estudio:

- Enfoque 1 [18], [19], [20], en el que los puntos de fragilidad generalmente toman en consideración exclusivamente la calidad de la información con la que el modelo es estructurado, cuyo propósito es llevar aspectos del Contexto Real (CR), calificados como incertidumbres a formar parte de la Representación Formal (RF) del modelo. Este enfoque considera apropiado la creación de escenarios que suponen la representación de las realidades que puedan producirse, garantizando de este modo solventar la preocupación por la robustez del modelo. Es este enfoque el que a lo largo de esta investigación se va a considerar para la presentación de la propuesta orientada a la selección de metodologías acorde a la planeación para el Desarrollo Sustentable.
- En el segundo enfoque identificado, los investigadores [21], [22], [23] consideran que, para atacar la preocupación por la robustez de los modelos decisorios es necesario enfocarse en orientar el modelo a brindar una forma robusta de solución; para calificar como una solución robusta, estos investigadores asignan un papel privilegiado al rendimiento de la solución en el peor de los escenarios. Este enfoque considera

necesariamente la posibilidad de homologar la escala de evaluación de los criterios para estructurar la Representación Formal (RF) del modelo decisorio. Esta característica hace que este enfoque sea ampliamente utilizado en modelos decisorios con una tónica de optimización, produciendo buenos resultados en cuanto a la robustez de los procesos para tomar decisiones, sin embargo se ve limitado cuando se consideran criterios cuyos atributos de evaluación no pueden ser considerados en una escala única.

Ninguna modelación de un proceso decisorio está libre de incertidumbres, el carácter dinámico de los factores involucrados en el proceso, así como las limitaciones propias de la descripción del Contexto Real (CR) hacen que la preocupación por la robustez de las representaciones formales sean procesos críticos en la formulación de escenarios que, con la participación multidisciplinaria, la objetividad en la selección de los supuestos, la validación de la información de entrada y la selección de los procesos para tratar esta información, intenten de la mejor manera propiciar decisiones sustentadas que procuren anticiparse a los cambios en el entorno y porque no, provocar cambios en el horizonte del desarrollo de la organización.

#### EVOLUCION DE LAS METODOLOGIAS MCDA

El matemático francés Bernad Roy planteó en 1968 un nuevo enfoque. Este autor inspirador de la denominada Escuela Francesa, se desmarca de la teoría de la decisión clásica y crea lo que denomina “Ciencia de Ayuda a la Decisión Multicriterio”. Esta escuela pretende construir una ciencia que ayude al decisor a encontrar soluciones satisfactorias. Sus métodos se basan en comparar entre si las diferentes alternativas en base a cada criterio y después agregar esta información considerando la fuerza de las evidencias a favor y en contra de la selección de una alternativa respecto a otra. Los métodos más conocidos son los de la familia ELECTRE y la familia PROMETHEE, métodos denominados de sobreclasificación (en inglés outrankg methods).

En Estados Unidos, las discusiones sobre la toma de decisiones multicriterio se centraron en los años 70 sobre la posibilidad de agregar las preferencias del decisor por cada criterio en una única función “suma” de las anteriores. Esta función de utilidad global se toma como punto de partida del problema de programación matemática multiobjetivo. Este modelo tiene un fundamento teórico sólido que constituye la denominada Teoría de la Utilidad Multiatributo (MAUT). En esta línea destacan los trabajos de Keeney y Raiffa [24].

A principio de los 90 se pueden ya distinguir claramente tres enfoques distintos en las investigaciones dentro de la ciencia de la Decisión: la vía del realismo, la vía axiomática y la vía del constructivismo. La primera defiende que existe una realidad cierta independientemente del grado de conocimiento que se tenga de ella y que por tanto la función del investigador es descubrirla; la segunda vía trata de encontrar unos principios fundamentales, llamados axiomas, a partir de los cuales, y una vez aceptados, se pueden extraer unas consecuencias lógicas que conducirán a la verdad; finalmente la vía del constructivismo reduce el problema de la toma de decisión multicriterio a construir una relación de preferencia global sobre el conjunto de

alternativas, teniendo en cuenta las características individuales del decisor y que los datos del problema van cambiando a lo largo de la decisión.

Los problemas multicriterio se clasifican en dos categorías, los de programación múltiple objetivo y los de evaluación multicriterio. Para efectos de la presente investigación, el estudio se centrará en la segunda categoría. La mayoría de estos métodos pertenecen a dos escuelas principales de métodos multicriterio, la escuela Americana y la escuela Europea

---

### LA ESCUELA AMERICANA

En 1944 Von Neumann y Morganstern [24] estudiaron la teoría del valor esperado y asentándose así las bases de la Teoría de la Utilidad Multi-atributo (MAUT), como aplicación en econometría. Este es uno de las metodologías que se estudiarán para el desarrollo de la propuesta de este trabajo de investigación, en capítulos posteriores se la describe con mayor amplitud.

Estos métodos parten del supuesto de que el decisor trata de maximizar una función de utilidad que agrega los distintos criterios que intervienen en el problema. Cuando el problema es discreto y no existe una situación de incertidumbre, esta función se denomina función valor.

MAUT asume que un problema de decisión puede modelizarse mediante funciones valoradas reales que pueden ser maximizadas/minimizadas entre las alternativas.

Basados en la existencia de la función valor la escuela americana propone varios métodos prácticos, como son los métodos de la suma ponderada, el método de las Jerarquías Analíticas o Proceso Analítico Jerárquico (AHP), que según sus autores constituyen una teoría y finalmente el método SMART (*The Simple Multi-attribute Rating Technique*).

### EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

Desarrollado por Thomas Saaty en 1980 [25] consiste esencialmente en formalizar nuestra comprensión intuitiva de problemas complejos utilizando una estructura jerárquica. Básicamente, tiene tres conceptos fundamentales:

Estructuración del problema de decisión complejo como una jerarquía de objetivo, criterios y alternativas, comparaciones por pares de elementos del mismo nivel de la jerarquía con respecto a cada criterio del nivel superior, y finalmente de manera vertical se sintetizan los juicios sobre los diferentes niveles de la jerarquía.

Al igual que el método MAUT, esta metodología es expuesta con mayor detalle en capítulos siguientes.

### EL MÉTODO SMART

El método SMART fue desarrollada por Edwards y Barron [26], donde se juzga la actuación de la alternativa mediante la elección de un apropiado valor entre un límite inferior predeterminado

para la peor (real o imaginaria) alternativa y un límite superior para la mejor (real o ideal) alternativa.

La ventaja del modelo SMART es que es independiente de las alternativas [27]. Cuando las evaluaciones de las alternativas no son relativas, cambiando el número de alternativas considerado no cambiarán las puntuaciones de la decisión con respecto a las alternativas. Esta característica es particularmente útil cuando se añaden nuevas alternativas a la comparación existente.

---

## ESCUELA EUROPEA

La Escuela Europea, con el trabajo de B. Roy en los años 70 y la contribución de varios científicos europeos, fue la fundadora de la metodología de Ayuda a la Decisión Multicriterio por reflejar una actitud dentro de la línea del pensamiento constructivista [28]. Esta familia de métodos persigue ayudar al decisor a resolver el problema teniendo en cuenta las dificultades que se derivan para la construcción de la función de valor. Se describen por su importancia, los métodos ELECTRE (*The Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*) los métodos PROMETHEE (*Preference Ranking Organization method of Enrichment Evaluations*), y el método MACBETH (*The Measuring by a Categorical Based Evaluation Technique*), métodos también llamados de sobreclasificación.

### MÉTODO ELECTRE

El método ELECTRE [29] pertenece a una familia de métodos basados en relaciones de superación o sobreclasificación para decidir acerca de la determinación de una solución, que sin ser óptima pueda considerarse satisfactoria; además de obtener una jerarquización de las acciones o alternativas bajo análisis, en la actualidad han sido desarrollados los procedimientos ELECTRE I, II, III, IV, IS; y ELECTRE TRI, los que brindan procedimientos para resolver diferentes tipos de problemas suscitados en el tratamiento de la teoría de la decisión.

### MÉTODO PROMETHEE

El método PROMETHEE desarrollado por Vinke y Brans en 1985 [30]; consiste en la construcción de relaciones de superación valorizadas, incorporando conceptos y parámetros que poseen alguna interpretación física o económica fácilmente comprensibles por el decisor.

PROMETHEE hace uso del concepto de pseudocriterio ya que construye el grado de superación entre cada par de acciones ordenadas, tomando en cuenta la diferencia de puntuación que esas acciones poseen respecto a cada atributo.

La evaluación de esas diferencias puede realizarse mediante funciones valor posibles y que son utilizadas de acuerdo a las preferencias del decisor, quién además debe proporcionar los umbrales de indiferencia y de preferencia asociados a estos pseudocriterios.

Otras variantes del método plantean situaciones más sofisticadas de decisión, en particular problemas con un componente estocástico. Así se han desarrollado las versiones PROMETHEE II,

PROMETHEE III, PROMETHEE IV y PROMETHEE V. En PROMETHEE V Brans y Mareschal [31] se incorpora una filosofía de optimización entera a efectos de abordar problemas de selección de inversiones con restricciones presupuestarias.

Esta metodología de ayuda a la decisión es explicada más ampliamente en capítulos siguientes, a fin de entender mejor la técnica y desarrollar la propuesta de esta investigación.

### **MÉTODO MACBETH**

MACBETH es un método interactivo que mide el grado de preferencia de un decisor sobre un conjunto de alternativas [32]. Construye una función criterio desde un punto de vista fundamental y determina los parámetros relacionados con la información entre criterios (pesos) en la fase de agregación.

El método utiliza un procedimiento mediante un cuestionario inicial iterativo que compara dos niveles al mismo tiempo, requiriendo solamente un juicio de preferencia cualitativo. Empieza con la comparación de la opción más atractiva y la menos atractiva. La opción más atractiva se compara entonces con el resto de opciones y el siguiente paso considera la comparación de la segunda opción más atractiva con la tercera, y así con todas.

# CAPITULO III DESARROLLO SUSTENTABLE

## DESARROLLO DEL CONCEPTO

### INTRODUCCIÓN

El desarrollo sustentable como es concebido por *The World Commission on Environmental and Development* conocida también como la Comisión Brundtland, está enfocado en solventar “las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para solventar sus propias necesidades” [2]. En este sentido las decisiones tomadas en el presente deben considerar las implicaciones para las siguientes generaciones.

Este apartado pretende estudiar la evolución del concepto desarrollo sustentable, abordando y analizando los dos problemas que nos interesan a fin de poder enmarcar el trabajo de presente tesis: el problema conceptual y el problema de interpretación del mismo concepto desarrollo sustentable.

El problema conceptual lo determinan la ambigüedad y la indefinición del concepto desarrollo sustentable, que han dado lugar a múltiples definiciones, algunas de las cuales comentaremos. El problema interpretativo da lugar a tres concepciones diferentes de la sustentabilidad: las conocidas como sustentabilidad débil, sustentabilidad fuerte y sustentabilidad sensible, que definiremos y analizaremos.

Este análisis es un paso previo y necesario que hay que hacer para plantear una metodología de análisis de la sustentabilidad, ya que, a la hora de escoger los factores que intervienen en el análisis de una problemática, así como en el momento de elegir variables representativas del sistema de estudio, estamos haciendo una interpretación conceptual del desarrollo sustentable. Lo mismo a la hora de seleccionar indicadores y de construir índices, ya que escogemos los indicadores, agregando los mismos y ponderándolos, para formar índices, según unos determinados criterios y principios de la sustentabilidad.

### PROBLEMA CONCEPTUAL DEL DESARROLLO SUSTENTABLE

Veamos a continuación, a grandes rasgos, el nacimiento y la evolución del concepto desarrollo sustentable, su definición según el informe Brundtland y otras definiciones posteriores, lo que nos ayudará a analizar el problema conceptual que presenta.



## ANTECEDENTES

El concepto desarrollo sustentable es un concepto dinámico que ha ido transformándose. Históricamente, el concepto desarrollo, visto desde el punto de vista de la sustentabilidad, ha evolucionado desde una perspectiva puramente económica hasta una perspectiva económica, medioambiental, política, social y cultural, y desde de una visión a corto y medio plazo, intrageneracional, hasta una visión a largo plazo, intergeneracional. El paso de una perspectiva a otra es influenciado por una preocupación importante que tiene la humanidad, el deterioro de los sistemas medioambientales.

Como antecedentes del concepto desarrollo sustentable podemos considerar que en 1968, en Roma, se reunieron treinta y cinco personalidades de treinta países, entre los que se encontraban científicos, educadores, economistas, humanistas, filósofos, funcionarios ...etc., para hablar de una preocupación creciente que tenían: las modificaciones del entorno ambiental que afectaban a la sociedad. Se creó entonces el llamado Club de Roma.

El mismo año tuvo lugar la Conferencia Intergubernamental para el Uso Racional y la Conservación de la Biosfera, organizada por la UNESCO, durante la cual se producir una interesante discusión sobre el concepto de desarrollo ecológicamente sustentable, ya que se empezaba a cuestionar el crecimiento basado en el consumo de recursos como medio de desarrollo.

Ya desde principios de los años setenta se habían utilizado términos que dejaban entrever el concepto de desarrollo sustentable, entre los que podemos destacar el ecodesarrollo, crecimiento intensivo, crecimiento orgánico, entre otros [33].

En 1972 el Club de Roma publicó su primer informe [34]. Este primer estudio se confió a un equipo interdisciplinario, que utilizó la dinámica de sistemas desarrollada en el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) para elaborarlo.

Este informe constataba el error de ignorar los límites en la manera de entender el desarrollo y proponía un nuevo modelo de desarrollo. Dentro de un contexto mundial se estudiaron y analizaron las interdependencias e interacciones de cinco factores críticos: el crecimiento de la población, la producción de alimentos, la industrialización, el agotamiento de los recursos naturales y la contaminación. Dos años más tarde se publicó el segundo informe del Club de Roma [33]. Este segundo informe divide el mundo en grandes regiones y analiza las interrelaciones existentes entre estas regiones. Dentro este estudio el autor muestra su preocupación por la evolución futura de la humanidad.

La relación entre desarrollo económico y degradación ambiental se puso por primera vez en la agenda política internacional en la Conferencia de la ONU sobre Medio Ambiente, que se llevó a cabo en Estocolmo en junio del año 1972 [2]. Esta conferencia profundizó en los efectos ambientales negativos asociados al modelo occidental de desarrollo y puso en evidencia la necesidad de controlar y limitar los efectos negativos del desarrollo, así como la necesidad de controlar la contaminación atmosférica, ya que ésta era la causa de la degradación del medio

ambiente. En esta conferencia se aprobó la llamada Declaración de Estocolmo y el Plan de acción para el medio ambiente humano, aunque hay que decir que ninguno de los dos documentos no se llevaron realmente a la práctica. Se creó también el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP).

A petición de la UNEP, la Unión Mundial para la Naturaleza (IUCN) editó el año 1980 el documento La estrategia mundial para la conservación, en el que se define por primera vez el concepto de uso sustentable.

En 1983 se formó la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo (WCED), con la finalidad principal de proponer estrategias ambientales a largo plazo. En 1987 la WCED presentó su informe, conocido como informe Brundtland [2], por el nombre de su presidenta, la noruega Gro Harlem Brundtland. En este informe se reconoce la necesidad de detener la utilización del capital ecológico de la Tierra y de empezar a centrar las actividades en los intereses que se puedan obtener de la administración sustentable de este capital.

Al mismo tiempo, el informe vincula definitivamente desarrollo y medio ambiente como conceptos interrelacionados e interdependientes. Es a partir de este informe que se populariza el concepto desarrollo sustentable, el cual se define como "el desarrollo que atiende las necesidades del presente sin comprometer la posibilidad de las futuras generaciones de atender las suyas" [2]. Desde de este momento el concepto desarrollo sustentable adquiere relevancia mundial y entra a formar parte de las agendas políticas internacionales.

Históricamente hablando, aunque el proceso es relativamente reciente, podemos asociar el nacimiento del concepto en cuatro importantes constataciones que hizo la humanidad a partir de los años sesenta: la existencia de límites, el aumento del crecimiento, el aumento de los desequilibrios y el incremento de los impactos ambientales, constataciones que hoy en día, por desgracia, siguen plenamente vigentes.

En 1990 se creó el Instituto Internacional para el Desarrollo Sustentable, con sede en Canadá, en asociación con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

En 1992 la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (UNCED) tuvo lugar en Río de Janeiro, conferencia que es conocida como la Cumbre de la Tierra. En esta conferencia se decidió la realización de convenciones sobre biodiversidad y clima, a la vez que se proponer el Plan de Acción para la Tierra, el conocido como Agenda 21 [35], un plan de acción para el desarrollo sustentable. Se creó también la Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sustentable (CSD) para hacer el seguimiento de la implementación de la Agenda 21.

En 1995 la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Social aprobó la Declaración de Copenhague, la cual prevé como componentes interdependientes del concepto de desarrollo sustentable el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente.

En la 29<sup>a</sup> Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, que se llevó a cabo en París en 1997 [35], se aprobó la Declaración sobre las

responsabilidades de las generaciones actuales con las futuras generaciones. Esta declaración muestra una gran preocupación por los irreversibles daños que las generaciones actuales provocan en los ecosistemas que deben ser el soporte para las generaciones futuras.

En 2002 tuvo lugar la Cumbre sobre Desarrollo Sustentable, en Johannesburgo, conocida como *Río +10*. Esta cumbre, que despertó gran expectación, concluyó con más declaraciones que compromisos concretos [35].

Dentro de esta evolución histórica, el proceso de institucionalización del desarrollo sustentable es un proceso clave para incluir e incorporar los preceptos que conlleva el concepto desarrollo sustentable dentro de los planes de acción, los discursos y las agendas políticas, en todos los ámbitos, tanto local, como regional, estatal, nacional e internacional. Se ha hecho un avance importante desde la creación del Plan de Acción para la Tierra, más conocido como Agenda 21. Ahora bien, este esfuerzo es insuficiente para transformar las actuales dinámicas de desarrollo.

#### OTROS CONCEPTOS DE SUSTENTABILIDAD

A continuación comentaremos algunas definiciones que intentan profundizar y aclarar el concepto desarrollo sustentable o sustentable.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) en 1980, plantea que el desarrollo sustentable debería ser una aspiración de la humanidad.

Esto se declara en una de las propuestas de esta organización, llamada *Estrategia Mundial para la Conservación* [36], que señala que un desarrollo económico sustentable necesita cumplir los requisitos:

1. La Manutención de los procesos ecológicos esenciales, y los sistemas que sostienen la vida;
2. la Preservación de la diversidad genética; y
3. la utilización sustentable de las especies y de los ecosistemas.

En 1982 Martín de Agar *et al* [37], plantean el concepto desarrollo sustentable refiriéndose a la "...utilización de la biosfera por el hombre, de tal forma que produzca el mayor y sostenido beneficio para las generaciones actuales, pero que mantenga la potencialidad para satisfacer las necesidades y aspiraciones de las generaciones futuras".

La necesidad de reflexionar sobre el concepto desarrollo sustentable, se puede asociar con la demanda que hay cada vez más urgente de encontrar puntos de confluencia y armonización entre los planteamientos que provienen de áreas de acción y conservación, o bien de áreas del conocimiento como la ecología y la economía [38], reflexión interesante ya que refleja la necesidad de una visión multidisciplinaria del concepto de desarrollo sustentable.

R. K. Turner [39] propuso otra definición de carácter operacional: “El desarrollo sustentable involucra la maximización de los beneficios netos del Desarrollo Económico, sujeto a mantener los servicios y la calidad de los recursos naturales a lo largo del tiempo”.

Otras definiciones posteriores de desarrollo sustentable se centran en la definición de capitales. Así, Pearce y Turner [40] entienden el desarrollo sustentable como el mantenimiento en el tiempo de los capitales agregados.

Algunos autores [41], [42], [43] consideran una condición necesaria para la sustentabilidad el mantenimiento de los niveles de capital natural. Podemos diferenciar varios tipos de capital [42], [44]:

- El capital artificial, que es el derivado de la actividad económica.
- El capital humano o cultural, que es el capital que proviene de habilidades humanas o conocimientos.
- El capital natural, que es el capital que proviene de los recursos naturales o cualquier bien que proviene de los servicios ecológicos.

La multiplicidad de definiciones del concepto desarrollo sustentable provoca cierta pérdida de contenido del concepto como tal, además de una crisis en cuanto a la falta de claridad en aspectos esenciales, como pueden ser las dimensiones que incluye y los límites que conlleva, entre otros.

Hoy en día es inconcebible hablar de desarrollo sustentable sin considerar el concepto en toda su amplitud, lo que nos obliga a tener en cuenta todas las dimensiones que incluye: la dimensión social, la dimensión ambiental y la dimensión económica [37], [45] y, según algunos autores, también la dimensión institucional [46], [47]. La sustentabilidad ha de impregnar todos los ámbitos de nuestra vida.

Esta multidimensionalidad del concepto la podemos ver en la concepción que refleja Jiménez Herrero [48]: “El desarrollo sustentable representa una respuesta a la necesidad de contar con una opción de Desarrollo que conjugue el Necesario Crecimiento económico, la equidad en la distribución de suspensión beneficioso y la debida consideraciones del medio ambiente. La necesidad de este enfoque de desarrollo aparece como consecuencia de la percepción de la crisis ecológico-ambiental que afecta a nuestra sociedad. Crisis que, al igual que la que afecta a los sistemas económicos, no es un fenómeno aislada, sino que es una de las tantas manifestaciones de la crisis global que afecta a la civilización industrial contemporánea”.

Asimismo, es importante tener en cuenta, dentro del concepto desarrollo sustentable, los valores de equidad, justicia y ética que el mismo concepto conlleva, y sin los cuales difícilmente se puede llevar a la práctica.

### PROBLEMA INTERPRETATIVO DEL CONCEPTO DESARROLLO SUSTENTABLE

Hasta el momento se ha comentado el problema conceptual del desarrollo sustentable enunciando y analizando algunas de las múltiples definiciones que se han dado de este concepto.

Existe otro problema importante cuando hablamos del concepto desarrollo sustentable, que es el problema de interpretación, es decir, las diferentes interpretaciones que podemos encontrar de este concepto en función de quien lo utilice, ya sean gobiernos, directivos de empresas, ecologistas, etc. [49], [50].

A continuación se analiza el problema que hay en torno a la interpretación del concepto desarrollo sustentable. La diferente interpretación que se hace del concepto da lugar a tres concepciones diferentes de la sustentabilidad: la sustentabilidad débil, la sustentabilidad sensible y la sustentabilidad fuerte; que se describen en apartados posteriores.

### DESARROLLO Y CRECIMIENTO

Uno de los problemas importantes de interpretación del concepto desarrollo sustentable es provocado por una reflexión que hace el informe Brundtland que hace referencia a la necesidad de continuar con un cierto crecimiento económico por lograr el desarrollo sustentable, tanto de los países desarrollados como sobre todo de los países en vías de desarrollo. Esto ha provocado una lectura muchas veces puramente económica (crecimiento constante en el tiempo).

La confusión es causada principalmente por el hecho de que desarrollo sustentable y crecimiento sustentable se han utilizado como sinónimos sin serlo. Si analizamos el significado de los dos términos podemos ver que, etimológicamente hablando, desarrollo significa pasar una serie de estados sucesivos, cada uno de los cuales es preparatorio del siguiente inmediato, cambiando gradualmente de un estado a otro más perfecto, más completo, por lo que es una evolución cualitativa. En cambio, crecimiento significa "aumento de tamaño", "ser cuantitativamente mayor". Por ello, utilizar la expresión crecimiento sustentable es una contradicción en sí misma, ya que nada físico no puede crecer indefinidamente, a menos que su tasa de crecimiento sea cero.

De este análisis anterior podemos concluir que para mejorar no es necesario crecer. Etimológicamente hablando, podemos definir el desarrollo sustentable como aquel desarrollo que se puede mantener. Desarrollo, por tanto, puede asociarse a proceso y en progreso. Daland señala: «Crecer significa aumentar naturalmente de tamaño, el añadirse encuentra nuevos materiales por asimilación o crecimiento. Desarrollar es ampliar o realizar las potencialidades de algo; quitar gradualmente a un estado más completo, mayor o mejor. El Crecimiento es un incremento cuantitativo en la escala física, en tanto que el Desarrollo es una mejora o despliegue cualitativo de las potencialidades. " [51]

El concepto de sustentabilidad ataca, las actuales pautas económicas de producción y de consumo creciente. Privilegiar el crecimiento económico como factor clave para todo proceso de desarrollo da lugar a modelos incompletos, ya que en estos casos simplemente se analiza el desarrollo en

función del crecimiento económico, midiéndose con sus indicadores e índices: “Como han dicho desde hace algunos años ecologistas y economistas, los sistemas de contabilidad económica tradicionales, como el PNB (Producto nacional bruto) y el PNN (producto nacional neto), son deficientes como indicadores del bien nacional en apoyo conjunto. En Ellos se subestiman o excluyen muchos factores de carácter no mercantil, que contribuyen de modo inconmensurable en la calidad de nuestra vida”. [46]

Ahora bien, algunos autores consideran el crecimiento económico como un hito necesario para el desarrollo, en relación armónica siempre con la conservación del medio ambiente, lo que es consecuencia del reconocimiento de la estrecha relación que existe entre crecimiento económico y sustentabilidad medioambiental, tal y como expresa J. A. Herce [52]: "No habrá Crecimiento económico sin sustentabilidad medioambiental, ni habrá sustentabilidad medioambiental sin crecimiento económico”.

Cabe destacar que un cierto crecimiento es una condición necesaria para lograr el desarrollo, considerando como referencia el principio de equidad y justicia, si tenemos en cuenta la igualdad de oportunidades para todos. Hay que tener en cuenta que es un error priorizar el crecimiento económico y, sobre todo, priorizar el crecimiento a partir del consumo de recursos naturales, sin considerar la capacidad de los ecosistemas. El desarrollo es un proceso integral y, como tal, su concepción requiere interdisciplinariedad con una visión global.

---

## SUSTENTABILIDAD Y DESARROLLO

La definición más conocida y popular del concepto desarrollo sustentable es la que dio la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, que ya hemos comentado y analizado:

*Aquel que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.*

Según esta definición, se pretende mantener intactas las opciones de futuro, lo que es muy ambicioso y no deja de ir acompañada de polémica. La pregunta clave es si hay que transmitir de generación en generación una cantidad constante de recursos naturales o de capital natural o bien podemos transmitir una cantidad constante de la suma de capital natural y de capital producido por el hombre. La respuesta a esta pregunta da lugar a dos concepciones diferentes de la sustentabilidad: la sustentabilidad débil y la sustentabilidad fuerte [53], las cuales van asociadas a dos maneras diferentes de entender el desarrollo:

En el caso de la sustentabilidad débil, el desarrollo sustentable se entiende como un crecimiento sostenido, manteniendo la expansión de la producción y el consumo, así como la acumulación de bienes materiales. Dentro de esta concepción la innovación tecnológica debería poder resolver cualquier período de escasez o falta de recursos. El objetivo de la sustentabilidad débil es conseguir un crecimiento sostenido a partir de tecnologías no contaminantes y más eficientes, proponiendo el uso de instrumentos y métodos económicos en los mercados libres. La sustentabilidad débil concede la atención preferencial al concepto de valor ambiental, tanto de

uso como de existencia, el concepto de coste y beneficio ambientales y el concepto de eficiencia ecológico-económica.

La sustentabilidad fuerte entiende el desarrollo sustentable como una mejora cualitativa sin incremento de la escala física. Plantea que el sistema económico es un subsistema dentro de un sistema global; el planeta Tierra, con lo que la dimensión del subsistema debe corresponderse con los límites globales, en cuanto a la capacidad de generación de recursos y absorción de residuos. Por eso es muy importante encontrar una escala óptima en la que la economía pueda actuar sin afectar al sistema global, lo que será la única manera de mantener en el tiempo la vida y, por tanto, de conseguir la sustentabilidad.

La noción de capital ha sido siempre entre los conceptos centrales de la economía. Los científicos ambientales no han ignorado su tratamiento y le han dado una visión ecológica, por lo que diferencian entre capital natural y capital artificial o construido. En realidad, la relación que establecen entre los dos tipos de capitales da lugar a dos interpretaciones principales del concepto de desarrollo sustentable: la llamada sustentabilidad fuerte y la sustentabilidad débil, y en medio de estas existe un amplio abanico de enfoques, entre los que podemos destacar la llamada sustentabilidad sensible.

#### SUSTENTABILIDAD DÉBIL, FUERTE Y SENSIBLE

Se presentan a continuación las características principales que tienen estas diferentes interpretaciones de la sustentabilidad.

##### *SUSTENTABILIDAD DÉBIL*

La característica principal de la sustentabilidad débil es que considera que el patrimonio natural tiene un grado de sustitución elevado, de modo que sería posible conseguir un desarrollo sustentable sustituyendo el capital natural por otros tipos de capital, concretamente por capital manufacturado por el hombre.

La sustentabilidad débil conlleva entender, dentro del concepto de sustentabilidad, la suma de capital natural y capital humano, y los acepta, dentro de esta aditividad, como capitales intercambiables, los cuales podemos sumar y restar, y lo que busca es que la suma total de estos capitales no disminuya [54].

La sustentabilidad débil se enmarca dentro “un marco en el que predomina una visión tecnocéntrica donde se apuesta por una gestión racional de los recursos naturales y por una determinada sustituciones del capital total en el tiempo con Criterios de igualdad intergeneracional” [55].

El principio básico que rige las decisiones de la llamada sustentabilidad débil, el principio de flujo de renta sustentable, consiste en mantener un nivel de desarrollo que asegure un bienestar similar hoy y en el futuro.

Para los recursos naturales no renovables, este enfoque se aplica de manera análoga: la extracción de estos recursos está permitida, no contradice la sustentabilidad débil, lo que no se puede consentir es el consumo incontrolado de las rentas obtenidas de estos recursos, es decir, el problema es la utilización que se hace de la riqueza obtenida, la cual, si no se administra bien, se puede agotar en el tiempo.

En este sentido, hay algunos autores que han formalizado modelos que representan los postulados de la sustentabilidad débil. Los principales son:

- J. M. Hartwick que expresa la regla de Hartwick, también llamada regla del consumo sustentable, según la cual *es necesaria una reinversión de la explotación de recursos naturales en nuevos activos de capital físico en una cantidad equivalente a la renta neta: precio del recurso - coste de extracción* [56].
- Robert Solow; que plantea la llamada regla de Solow, que intenta demostrar que *es factible conseguir una renta sustentable siempre que se cumpla la regla del capital total constante, que consiste en mantener intacta la riqueza total*, es decir, un stock agregado de capital natural, social y de capital humano, lo que permite el mantenimiento de la capacidad de generación de bienes constante en el tiempo [57].

Aquí predomina el enfoque económico de la sustentabilidad. Hay posibilidad de sustitución entre las diferentes formas de capital, el cual debe mantenerse constante en el tiempo para mantener su capacidad de generación de bienestar. El medio ambiente no tiene un papel relevante en el proceso de desarrollo, ya que simplemente se considera una de las formas de capital disponible y sustituible.

Según este enfoque, la satisfacción y el bienestar de las generaciones futuras se pueden conseguir, por ejemplo, con menos árboles pero con más automóviles y más educación.

### **SUSTENTABILIDAD FUERTE**

La sustentabilidad fuerte se basa en la idea de que los diferentes capitales son complementarios pero no intercambiables, es decir, no se pueden sustituir constantemente entre sí, excepto en aspectos marginales. Se puede construir capital humano o artificial a partir de la destrucción de capital natural, pero no a la inversa: podemos construir herramientas de madera a partir de un bosque, pero no podemos crear un bosque en base a las herramientas. Por eso la sustentabilidad fuerte se basa en el mantenimiento del capital natural. Para la mayoría de los economistas ecológicos, esta manera de entender la sustentabilidad es la única razonable. Para la sustentabilidad fuerte, el capital natural no tiene sustitutos.

A diferencia de los postulados de la sustentabilidad débil, la sustentabilidad fuerte no considera que el capital pueda ser interpretado como una sola entidad y, por consiguiente, cuestiona la idea de la sustitución perfecta entre las diferentes formas de capital. En cuanto a la posibilidad de sustitución entre el capital natural y otras formas de capital, plantea que la ignorancia, la incertidumbre y sobre todo la irreversibilidad que muchas actividades económicas tienen sobre la



naturaleza y sobre los sistemas capaces de mantener los equilibrios energéticos y ecológicos, hacen como mínimo desaconsejable la sustitución de capital natural por capital creado por el hombre. Para tanto, la regla de sustentabilidad en este caso es la regla del capital natural constante, como medida que garantice la posibilidad de bienestar en el futuro

La sustentabilidad fuerte requiere la internalización de los costes sociales y ambientales y se pondera por un sistema económico integrado con el sistema ecológico sin confiar en la tecnología salvadora [54].

La sustentabilidad fuerte "encaja en una visión predominantemente etnocéntrica donde el subsistema económico encuentra su limitante en el ecosistema global y donde el mantenimiento del capital natural es imprescindible e insustituible por el capital artificial" [55].

Para algunos autores como Herman Daland, la limitación al desarrollo es impuesta por el tipo de capital del que haya menos oferta, lo que puede variar entre las diferentes sociedades. Esto quiere decir que las respuestas prácticas que da el desarrollo sustentable en sociedades muy industrializadas deben atender el hecho que los límites los impone el déficit de capital natural, que es lo de menos oferta (Sistemas ecológicos muy degradados, biodiversidad reducida, funciones ecológicas disminuidas, contaminación, problemas ambientales, etc.) [53]. En cambio, en sociedades con un bajo grado de desarrollo económico es posible que el límite en desarrollo la determinación la escasez de capital artificial. De todos modos, en todos los casos hay que atender a la imprescindible integración de las dimensiones local, regional y global, y los modelos de desarrollo sustentable no pueden dejar de parte esta interrelación. Por tanto, en la llamada sustentabilidad fuerte ya no es posible reducir más el capital natural, que es fuertemente limitado, ya que no podemos aumentar más el espacio ambiental global de los sistemas socioeconómicos, por lo que todo crecimiento del capital artificial en sociedades en desarrollo se realiza a costa del mantenimiento del capital natural global, reduciendo, por tanto, el espacio ambiental o capital artificial de las sociedades industrializadas. Aplicando a un problema global como es el caso de las emisiones de dióxido de carbono, todo incremento de las emisiones de los países pobres se hará con la correspondiente reducción de las emisiones de los países más ricos, para poder conseguir una reducción global de las emisiones, siempre que queramos conseguir estabilizar y reducir este problema.

Por tanto, el desarrollo sustentable exige, desde el ámbito del capital natural, que las sociedades ricas reduzcan su espacio ambiental a fin de posibilitar el crecimiento del capital artificial de las sociedades más pobres.

### ***SUSTENTABILIDAD SENSIBLE***

Entre la sustentabilidad fuerte y la sustentabilidad débil existe un amplio abanico de diferentes enfoques, entre los que podemos destacar la llamada sustentabilidad sensible, que plantea que es necesario el mantenimiento constante del capital total *per cápita*, además de mantener niveles críticos de cada uno de los capitales, ya que son los que forman el sistema base de la vida en el planeta y los sistemas ambientales [44].

La sustentabilidad sensible reconoce que existe un tipo de capital, el capital natural, que, por sus características, tiene un valor muy importante y que debería de ser respetado y conservado, respetando un determinado nivel de capital natural, el llamado capital natural crítico. El concepto de capital natural crítico, equivalente a un estándar mínimo de seguridad, se puede definir como el conjunto de recursos medioambientales que cumplen importantes funciones en el ámbito medioambiental y que, en una escala geográfica determinada, no es posible sustituir en términos de capital manufacturado, humano u otro capital natural existente en la actualidad [58].

Al mismo tiempo, considera que la otra fracción de capital natural, el capital natural no crítico, aunque se reconoce el valor, como que este capital no es irremplazable ni indispensable para el mantenimiento de la vida, puede ser utilizado para su explotación, de manera coherente con los condicionantes ambientales y sociales del desarrollo sustentable. Por tanto, el capital natural total estaría formado por capital natural crítico, que no es sustituible, y por una fracción de capital natural que se puede sustituir. Lo mismo pasaría con el resto de capitales [39].

La sustentabilidad débil considera que los mecanismos del mercado para la evaluación los recursos del planeta no tienen en cuenta los límites biofísicos del planeta. Los sus defensores consideran que la tecnología podrá salvar y corregir cualquier falta de recursos que haya en el futuro.

Ahora bien, hay que considerar la degradación que sufre el medio ambiente, la cual no puede resolver la tecnología, ya que la tecnología no nos podrá proporcionar en un futuro los materiales y los flujos de energía que nos proporciona el ecosistema natural. Los servicios medioambientales no se pueden sustituir por servicios artificiales y son absolutamente necesarios para mantener la vida en el planeta, tal como argumentan los defensores de la sustentabilidad fuerte.

La sustentabilidad fuerte exige responsabilidad y solidaridad de los unos hacia los otros y sobre todo hacia el medio ambiente. Si queremos mantener la vida en el planeta, no podemos aceptar que una determinada calidad de vida excluya algunos habitantes del planeta, y no podemos aceptar bajo esta perspectiva el agotamiento de biodiversidad ni de los recursos no renovables. La sustentabilidad fuerte pone claramente en cuestión las actuales pautas consumistas de la sociedad, que son totalmente insustentables.

#### MEDIDA DE LA SUSTENTABILIDAD

El desarrollo sustentable se basa en encontrar un equilibrio entre las dimensiones que lo integran: la dimensión social, la dimensión medioambiental y la dimensión económica [45].

El tema de la sustentabilidad en las operaciones organizacionales está muy ligado al crecimiento en todos los niveles. Se hace necesario, por tanto, encontrar herramientas que nos ayuden a evaluar la alternativa de decisión más adecuada para lograr un desarrollo sustentable.

Las variables, los indicadores y los índices nos permiten identificar los aspectos en los que las relaciones entre la economía, el medio ambiente y la sociedad son débiles, con lo que podemos reconocer las áreas problemáticas y planificar estratégicamente una vía para solucionarlas [59].

Algunos autores atribuyen a los indicadores de sustentabilidad las funciones siguientes: identificación de problemas, mayor conocimiento y más concienciación pública de los problemas, así como la definición, el desarrollo y la evaluación de políticas [60].

El desarrollo sustentable exige indicadores y/o índices adaptados al carácter integral y multidimensional de los procesos de desarrollo [61], aunque esta exigencia implique más complejidad en su diseño, en su obtención y en su interpretación.

Para poder controlar el progreso de la Agenda 21, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo creó la Comisión de Desarrollo Sustentable (CDS) con el mandato de monitorear su implementación hacia el desarrollo sustentable. Esta comisión tuvo la necesidad de disponer de instrumentos capaces de medir el avance hacia la sustentabilidad, lo que explica el gran impulso que hubo, en la definición de indicadores, en la década de los noventa.

### **ALGUNAS DEFINICIONES**

Podemos definir las variables como aquellas características de un sistema que se pueden medir o cuantificar. Por tanto, podemos utilizar como variables datos procedentes de bases estadísticas oficiales y no oficiales, aunque es aconsejable utilizar bases de datos oficiales homogéneas, ya que facilitan comparaciones posteriores.

La interpretación de una variable particular como un indicador se realiza a partir de la base que la variable lleva información sobre la condición y/o tendencia (si comparamos dos o más valores de la variable en un determinado periodo de tiempo) de un atributo del sistema considerado. En general, cualquier variable nos indica un atributo del sistema.

Por tanto, los indicadores son variables y las variables pueden ser indicadores, y los datos son medidas (u observaciones cualitativas) del valor de las variables en diferentes tiempos, localidades, poblaciones o combinaciones de éstas [62].

Los indicadores de sustentabilidad son herramientas que comunican información relevante de forma simplificada de un fenómeno determinado y nos permiten evaluar el progreso de una región hacia el desarrollo sustentable además de evaluar alternativas de acción con vista a la sustentabilidad de las actividades de la organización.

Se pueden definir los indicadores como variables que pueden tomar diferentes valores o estados. En algunos estados se les puede dar una importancia especial, a partir de ciertos juicios de valor, y convertirlos así en estándares, metas, umbrales o valores de referencia [62].

Las funciones principales del indicadores, son evaluar las condiciones y tendencias, comparar entre lugares y situaciones, evaluar las condiciones y tendencias en relación con los objetivos y metas, conseguir información prioritaria de forma rápida y anticipar las condiciones y tendencias futuras [62].

Los indicadores y/o variables se ponderan dando un peso relativo respecto al resto, con el fin de crear el índice.

Los indicadores sintéticos son medidas adimensionales resultantes de combinar varios indicadores simples, mediante un sistema de ponderación, jerarquizando los componentes. La interpretación de los indicadores sintéticos es más difícil que la de los indicadores simples, aunque contienen en general mucha más información que los indicadores simples. Una vez definidos los conceptos, comentamos las principales iniciativas existentes.

---

## INDICADORES

En la actualidad existen multitud de baterías de indicadores utilizados para monitorizar la sustentabilidad a todos los niveles, ya sea local, regional o global, y todas intentan medir la sustentabilidad de un sistema identificando una serie de factores clave de este mismo sistema, el cual tiene como característica principal la complejidad.

Cabe destacar que tras la representación mediante indicadores de un sistema encontramos una determinada conceptualización del desarrollo sustentable, ya que cualquier proceso de medida, modelización y evaluación de la sustentabilidad se guía por una visión del desarrollo sustentable [63]. Las características principales que deben tenerse en cuenta en la hora de seleccionar los indicadores. Los indicadores deben tener [64]:

- *VALIDEZ CIENTÍFICA*: el indicador debe estar basada en el Conocimiento científico del sistema o Elementos del mismo debe atribuírsele descritos, teniendo atributos y significados fundamentados.
- *REPRESENTATIVIDAD*: la información que posee el indicador debería ser representativa.
- *SENSIBILIDAD A LOS CAMBIOS*: el indicador debe señalar los cambios de tendencia preferiblemente a corto y medio plazo.
- *FIABILIDAD DE LOS DATOS*: los datos deben ser los más fiables posible, de buena calidad.
- *RELEVANCIA*: el indicador debe proveer información de relevancia para poder determinar objetivos y metas.
- *COMPRESIBLE*: el indicador debe ser simple, claro y de fácil Comprensión para los que vayan a hacer uso del mismo debe atribuírsele.
- *PREDICTIVIDAD*: el indicador debe proveer señales de alarma previa de futuros cambios en términos como el ecosistema, salud, economía, etc.
- *METAS*: el indicador ideal propone metas a alcanzar, con las que comparar la situación inicial.
- *COMPARABILIDAD*: el indicador debería tener una presentación de tal forma que permita comparaciones interterritoriales.
- *COBERTURA GEOGRÁFICA*: el indicador debe basarse en temas que sean extensibles a escala del nivel territorial de análisis.

Una revisión de las diferentes formas de organización de los indicadores se presenta en el trabajo de Hammond *et al* [65] y podemos ver que hay tantas formas de organización los indicadores como finalidades tienen. Las principales agrupaciones de indicadores que se pueden formar, según los autores citados, son:

**TEMAS Y SUBTEMAS:** agua, tierra, biodiversidad, residuos y desastres. La agrupación en temas y subtemas está relacionada con las ofertas del potencial y las limitaciones del patrimonio natural, con líneas base dirigidas a inventarios cualitativos y cuantitativos los recursos naturales y a la valoración de los bienes y servicios que los ecosistemas naturales proporcionan a escala del problema .

**SECTOR:** forestal, pesca, agropecuario, minería, turismo y energía. La agrupación depende del desarrollo de líneas base para dar respuesta a las demandas creadas por los sectores económicos y sociales, evaluando el grado de desarrollo de los sistemas productivos, el uso de prácticas y tecnologías para la transformación de la naturaleza en beneficio económico y social, cuantificando la relación de los beneficios-costes ambientales en relación con los residuos y degradaciones que afectan la productividad los ecosistemas naturales.

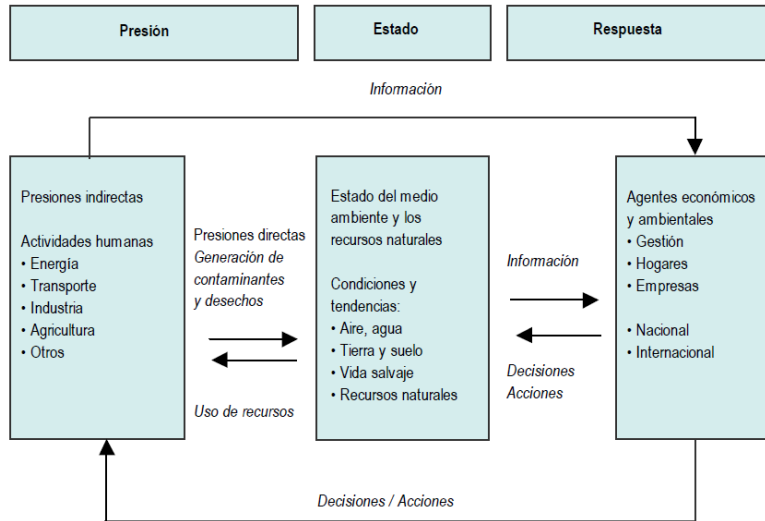
**TERRITORIO.** Se basa en una combinación de las dos anteriores, ya que responde a una autonomía y descentralización territorial política administrativa, donde el interés está tanto a conocer la oferta de la naturaleza como en las demandas en el marco geográfico, político y administrativo de un territorio determinado.

### LÓGICA PRESIÓN-ESTADO-RESPUESTA

---

Los indicadores se pueden agrupar según una lógica causal de acciones y respuestas, relacionando el desarrollo socioeconómico con condiciones y dinámicas ambientales cambiantes. Es el sistema conocido como *Presión-Estado-Respuesta* (PER), en inglés PSR (*Pressure-State-Response*), el cual fue desarrollado a principios de los años noventa, y constituye la base del informe *Integrated Environmental Assessment and Reporting* del Instituto Internacional para el Desarrollo Sustentable (IISD), este sistema es presentado en la Figura 4.

El sistema PER es el sistema utilizado por el Grupo sobre el Estado del Medio Ambiente de la OECD [66] y se basa en la presión que ejercen las actividades humanas sobre el medio ambiente, que registra cambios de estado a los que la sociedad responde para mantener o mejorar la calidad de los recursos naturales mediante políticas. Estas políticas producen una retroalimentación dirigida a modificar las presiones a través de la actividad humana. Esta secuencia forma parte de un ciclo de política de medio ambiente que incluye la percepción de los problemas y la formulación de políticas, así como su seguimiento y evaluación.



Fuente: OECD, 1998

Figura 4. Sistema Presión-Estado-Respuesta

Dentro del modelo PER podemos encontrar tres tipos de indicadores diferentes:

**INDICADORES DE PRESIÓN MEDIOAMBIENTAL:** describen las presiones de las actividades humanas sobre el medio ambiente y sobre los recursos naturales (incluyendo cantidad y calidad). Están directamente relacionados con los métodos de producción y de consumo y permiten conocer las tendencias y el grado de evolución en un período determinado.

También sirven para verificar progresos y evaluar grados de cumplimiento o de ejecución. Cabe destacar los factores o fuerzas clave dentro de este grupo, entre los que podemos considerar el crecimiento de la población, la pobreza, el consumo, etc.

**INDICADORES DE ESTADO MEDIOAMBIENTAL:** están relacionados con la calidad del medio ambiente y con la cantidad y calidad de los recursos naturales. Dan una visión de la situación actual del medio ambiente y su desarrollo en el tiempo. Señalan el objetivo final de las políticas ambientales. Podemos destacar, como ejemplo, los niveles de contaminación del aire, la degradación de la Tierra, la deforestación, etc.

Los indicadores de estado deberían estar diseñados para responder a las presiones y el mismo tiempo facilitar acciones correctivas.

**INDICADORES DE RESPUESTA SOCIAL:** permiten medir el grado de respuesta de las sociedades, ya sea en el ámbito individual o colectivo, a las cuestiones ambientales.

Indican las acciones encaminadas a evitar, mitigar o reparar los efectos negativos de las actividades humanas sobre el medio ambiente, limitar o evitar la degradación y conservar o proteger la naturaleza y los recursos naturales. Pueden entenderse como tales los recursos aplicados a la protección ambiental, los impuestos y las subvenciones ambientales, la estructura

de precios, los sectores del mercado representativos de los bienes y servicios respetuosos con el medio ambiente, y las tasas de reducción de polución y de reciclaje. Las respuestas deberían estar diseñadas para actuar sobre las presiones, pero al mismo tiempo pueden tener un impacto modificador sobre los indicadores de estado.

La ventaja que tiene el sistema PER es que, como lo utilizan la OCDE y las Naciones Unidas, permite comparaciones de indicadores ambientales de ámbito internacional. Los principales inconvenientes que tiene es que no aporta metas de sustentabilidad y no da información sobre las funciones ecológicas y las estructuras los ecosistemas.

El sistema PER ha aplicado desde 1995 en la mayoría de trabajos sobre indicadores medioambientales de las Naciones Unidas [67], del Banco Mundial [68] e INEGI [69]. Es un sistema ampliamente utilizado, pero está continuamente en evolución. Uno de los mayores problemas que tiene es la diferenciación entre indicadores de presión y de estado, y la necesidad que tiene de ampliar el marco para tratar más específicamente las necesidades que implica necesariamente el desarrollo sustentable.

Una ligera modificación del marco de referencia FER en cuanto a nomenclatura, cambiando las presiones por fuerzas conductoras, da lugar al llamado marco de referencia *Fuerzas Conductoras-Estado-Respuesta* (FER), también llamado DSR (*Driving forces-State-Response*), utilizado por la Comisión para el Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas [70]. El marco FER trata de incorporar el concepto de desarrollo sustentable tanto a los aspectos sociales como los económicos y los institucionales.

En el sistema FER los componentes de acuerdo con la sistematización de Mortens [71] :

**FUERZAS CONDUCTORAS:** actividades humanas, procesos y patrones que tienen un impacto en el desarrollo sustentable. Corresponden a desarrollo en el ámbito de las empresas, industrias, sectores económicos o tendencias sociales. Por ejemplo, tasa de crecimiento de la población o emisiones de gases de efecto invernadero.

**ESTADO:** es el estado desde el punto de vista del desarrollo sustentable, o de un aspecto parcial de éste, en un momento concreto. Puede estar determinado por indicadores cualitativos o cuantitativos, por ejemplo, expectativa de escolaridad o concentración de contaminantes en zonas urbanas.

**RESPUESTA:** opciones políticas y otras respuestas sociales para hacer cambios en el estado del desarrollo a fin de conseguir que éste sea sustentable. Estos indicadores dan una medida de la disposición y la efectividad social en la construcción de respuestas. Incluyen legislación, regulaciones, instrumentos económicos, etc. Por ejemplo, cobertura de tratamiento de aguas o gasto en disminución de la contaminación.

## INTEGRACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES COMO CRITERIOS DE DECISIÓN

La manera más eficiente de lograr una asignación óptima de recursos económicos y medioambientales es no sólo considerar las variables medioambientales como restricciones del sistema, sino como criterios en el mismo plano de decisión que los objetivos tradicionales tales como los económicos o los de carácter técnico.

Aun cuando existen numerosas propuestas para integrar criterios, propios del Desarrollo Sustentable como medidas de impacto ambiental, social o cultural a los modelos de planeación, el alcance de este trabajo de investigación se limita a la revisión del uso del análisis multicriterio como método de ayuda a la decisión, considerando esto, a continuación se describen algunos enfoques para esta integración:

Con el objetivo de reducir el grado de incertidumbre asociada a la valoración monetaria del impacto de la decisión respecto a criterios ambientales y sociales, algunos autores han propuesto integrar estos aspectos al modelo de decisión en sus propias unidades físicas [72], [73], buscando de esta forma dar mayor visibilidad a los criterios ante el centro decisor.

Las técnicas basadas en la teoría de la decisión multicriterio ayudan a eliminar el grado de incertidumbre asociada a la cuantificación de las implicaciones de carácter medioambiental de la implementación de una u otra alternativa, sin embargo su aplicación presenta algunos inconvenientes, a continuación se presentan algunas aplicaciones reportadas en la literatura revisada. Sus aplicaciones se pueden distinguir según traten con un número discreto o continuo de alternativas. Las metodologías utilizadas para esta investigación como se menciona en capítulos anteriores son de carácter discreto.

### MÉTODOS DISCRETOS

Los métodos discretos están indicados para aquellos casos en que el número de variables o alternativas de decisión consideradas es un número discreto y limitado. En consecuencia son de especial interés en los procesos de planeación con vista al Desarrollo Sustentable donde se busca la evaluación de políticas o proyectos. Su aplicación requiere que se incorpore un módulo de generación de escenarios, para generar alternativas factibles. A continuación se enuncian algunos reportes de aplicación de MCDA para evaluar alternativas de acción; en procesos en los que se incluyen criterios relacionados parcial o totalmente con el Desarrollo Sustentable, la revisión de la literatura presentada a continuación tiene un enfoque hacia el sector industrial en busca de hacer más enriquecedora la investigación, considerando que la presente investigación se desarrolla dentro del programa de Maestría en Administración Industrial (MAI-UNAM).

El método MAUT fue utilizado por Hämäläinen y Karjalainen [74] para establecer un procedimiento de evaluación de políticas energéticas por un comité experto del Gobierno finlandés. A partir de las tasas de intercambio entre distintos criterios tales como: efectos sobre la salud, efectos sobre la fauna, el suelo o el clima se construyó una función de utilidad para evaluar los riesgos ambientales de cada alternativa. Posteriormente, para integrar el riesgo ambiental con



otros criterios económicos y políticos, se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) [25], basado en la comparación por parejas de los criterios relevantes.

Jones *et al* [75] establecieron un procedimiento similar de evaluación de políticas energéticas en el Reino Unido, aunque en este caso las ponderaciones de los criterios se obtenían por métodos directos. Se consideraron 5 políticas, que debían ser evaluadas bajo una lista abierta de criterios económicos, técnicos, sociales y medioambientales.

Cada agente implicado debía elegir una serie de criterios relevantes, asignarles una prioridad, y luego puntuar todas las políticas bajo cada criterio. El énfasis de este trabajo estaba en ampliar lo más posible el abanico de participantes.

El método AHP, que resulta más sencillo de implantar, ha sido utilizado para distintos problemas de decisión, muestra de ello son las siguientes investigaciones:

Kagazando *et al* [76] utilizaron AHP para evaluar proyectos públicos de I+D en Japón, a partir de criterios cuantitativos y cualitativos.

El principal problema de los métodos basados en la teoría de utilidad multiatributo MAUT o en AHP es que no son capaces de incorporar las vacilaciones de los decisores, los estados intermedios entre preferir o ser indiferente [77]. Por ello, se han utilizado otros métodos como el ELECTRE III o el PROMETHEE, que pueden resolver este problema. Como inconveniente, hay que señalar que estos métodos son más complicados de utilizar, y requieren una mayor interacción con los decisores.

Barda *et al* [61] utilizaron el método ELECTRE III para determinar el emplazamiento más adecuado para instalar una central térmica en Argelia. Los criterios inicialmente considerados fueron 20. Si bien para la preselección se utilizaron criterios meramente técnicos, en la elección final sí se incluyeron otros aspectos, como los socioeconómicos, ambientales y políticos, criterios típicos aplicables al Desarrollo Sustentable. Los aspectos ambientales no se incluyeron explícitamente, sino englobados en otros.

Siskos y Hubert [78] también utilizaron este método para comparar alternativas energéticas. Consideraron 11 criterios (de salud ambiental, económicos y técnicos) para evaluar seis tecnologías de proceso según los criterios de 4 grupos sociales: economistas, conservacionistas, empresas y grupos locales. Como ya se mencionó, este estudio sólo pretendía elegir un proceso de producción óptimo, ya que para determinar el funcionamiento óptimo del sistema productivo es necesario utilizar modelos que representen adecuadamente el sistema.

Esto se soluciona en el estudio de Georgopoulou *et al* [77] en el que las alternativas de proceso consideradas para la expansión de la generación energética en Creta son generadas previamente con un modelo de expansión de la capacidad. Así, se generaron 8 estrategias de expansión, que fueron evaluadas con los métodos ELECTRE III y PROMETHEE, basándose en sus costes, la

seguridad de suministro, el empleo, el impacto ambiental, la conservación de recursos, la estabilidad y la operatividad.

Un esquema similar fue el seguido por Georgopoulou *et al* [79] para crear un sistema de apoyo a la decisión en grupo para la promoción de las energías renovables en Grecia.

Se generaron 6 escenarios de penetración de las energías renovables, que fueron evaluados frente a una serie de criterios mediante el método PROMETHEE. Los criterios considerados fueron: costes, contribución al desarrollo económico, seguridad de suministro, impacto ambiental, conservación de recursos, aplicabilidad social, o empleo.

Boone *et al* [80] utilizaron métodos multicriterio discretos para el proceso de planificación integrada de recursos de Ontario Hydro. En una primera fase, se utilizó para seleccionar los criterios medioambientales que se debían considerar en el proceso.

En segundo lugar, se usó para evaluar los 7 planes propuestos respecto a los criterios medioambientales seleccionados, y a otros criterios económicos o sociales.

Como se puede observar, todos los métodos discretos presentan ventajas e inconvenientes. Por ello, la propuesta de algunos autores es utilizar varios de ellos simultáneamente. De aquí la importancia de contar con herramientas que permitan al analista identificar cuáles son las aproximaciones metodológicas que mejor se ajustan a las necesidades particulares de la problemática en estudio en el proceso decisorio y de planeación.

A continuación se resumen algunos reportes obtenidos de la revisión de la literatura donde se utilizó simultáneamente varias metodologías del análisis multicriterio en el proceso decisorio.

Hobbs y Meier [81] utilizaron varios métodos para ponderar la importancia de los atributos de diferentes planes hipotéticos de expansión de capacidad para una empresa de Seattle. Los atributos considerados fueron el coste, el impacto ambiental (expresado mediante distintos indicadores) y la fiabilidad. Los métodos empleados fueron una evaluación a priori de las alternativas, una asignación de pesos jerárquica y no jerárquica una inferencia a partir de las tasas de intercambio entre criterios, y el establecimiento de metas.

Hobbs y Horn [82] también proponen el mismo enfoque para seleccionar los mejores programas de gestión de la demanda en una empresa canadiense. Los criterios de coste, flexibilidad, impacto ambiental, generación de empleo, eficiencia energética y riesgo se ponderaron con pesos obtenidos por dos vías: asignación directa de pesos, e inferencia de estos a partir de las tasas de intercambio entre criterios expresadas por los decisores. Además, se pidió a estos que realizaran una evaluación a priori de cada alternativa, y posteriormente, mediante entrevistas, se discutieron los resultados obtenidos por los tres métodos con cada uno de los decisores.

En la literatura revisada se encuentra que existe una aceptación del uso de métodos discretos que ayuda a la decisión, se visualiza además la tendencia para conseguir una asignación eficiente de los recursos económicos y medioambientales, esto justifica la necesidad de integrar los criterios medioambientales en el modelo de decisión al mismo nivel que los criterios económicos. Esto

puede hacerse bien mediante la cuantificación de los criterios medioambientales en términos económicos, o bien mediante la teoría de la decisión multicriterio.

En realidad, ambos métodos no son excluyentes. De hecho, se puede decir que el cálculo de los impactos de criterios está basado en la teoría de la utilidad multiatributo, donde se definen funciones de utilidad unidimensionales para cada impacto considerado. En este caso, la utilidad vendría medida por la valoración monetaria del impacto [83].

Muchos autores consideran que el enfoque multicriterio es el método más riguroso para incorporar aspectos medioambientales a las decisiones en sector industrial y de energía [84], [85]. Esto se debe a que la teoría de la decisión multicriterio es más completa y más flexible, ya que permite incluir valores de criterios que no es posible o aconsejable monetarizar.

Otra ventaja de la teoría de la decisión multicriterio es que permite una mayor participación de los agentes implicados en el proceso de decisión [86], siendo las técnicas basadas en ella especialmente apropiadas para ayudar a formar conjuntos coherentes de valores, y entender las implicaciones de estos valores para las decisiones [87] ya que los intercambios entre valores se presentan de forma explícita.

De hecho, el involucrar directamente a los agentes implicados en el proceso de decisión presenta ventajas adicionales, como son:

- asegurarse de que todos los afectados están representados,
- obtener información sobre impactos que podrían pasarse por alto,
- e informar al público.

Los métodos multicriterio, además, llevan las decisiones del espacio de las alternativas al espacio de los objetivos. Esto facilita las negociaciones, al evitar prejuicios y comportamientos a la defensiva de algunas alternativas [81], [82] lo que incrementa el nivel de acuerdo.

Sin embargo, las técnicas multicriterio también presentan inconvenientes, como son los siguientes:

- pueden ser difíciles de articular, sobre todo en entornos donde el control es escaso,
- las decisiones son difíciles de repetir, al tener que reunir a los agentes implicados en cada ocasión,
- la capacidad humana para distinguir entre distintos niveles de importancia es limitada, mucho más que las infinitas escalas de valor monetario, y si no son correctamente aplicadas, pueden no representar a todos los agentes afectados, o expresar incorrectamente sus preferencias.

Por lo que en ocasiones no es aconsejable conducir el proceso decisorio únicamente por una alternativa metodológica, sino integrar los procesos tanto de análisis de decisión multicriterio y el proceso de planeación tradicional, respecto a este último, se tratará más adelante enfocándose este trabajo en la alternativa de Planeación por Escenarios (SP).

**DIMENSIONES DE LA SUSTENTABILIDAD**

Para definir y conjuntar las series de indicadores sugeridos en la Agenda 21, la CDS, en colaboración con diversas agencias asociadas y/o independientes de Naciones Unidas y de representantes de algunos países entre los que se encuentra México, diseñaron y elaboraron metodologías para que los países tuviesen un marco de referencia para la elaboración de indicadores de sustentabilidad.

Los indicadores propuestos por la CDS se diseñaron y agruparon de acuerdo con criterios temáticos que cubren lo expuesto en la Agenda 21 y se clasificaron en cuatro categorías como se establecen en Tabla 2: Social, económica, ambiental e institucional [69].

Tabla 2. Clasificación de los Indicadores propuestos por la CDS de acuerdo a su categoría

| <b>CATEGORÍA</b>  | <i>No. de Indicadores</i> |
|---|---------------------------|
| <b>ASPECTOS SOCIALES</b>  |                           |
| Combate a la pobreza  | 6                         |
| Dinámica demográfica y sustentabilidad  | 4                         |
| Promoción de la educación, la concientización política y la capacitación  | 11                        |
| Protección y promoción de la salud humana   | 12                        |
| Promoción del desarrollo de asentamientos humanos sustentables  | 8                         |
| SUBTOTAL  | 41                        |
| <b>ASPECTOS ECONÓMICOS</b>  |                           |
| Cooperación Internacional para acelerar el desarrollo sustentable de los países y en sus políticas internas y en sus políticas internas | 5                         |
| Cambio de patrones de consumo   | 8                         |
| Mecanismos y recursos financieros   | 6                         |
| Transferencia de tecnología   | 4                         |
| SUBTOTAL  | 23                        |
| <b>ASPECTOS AMBIENTALES</b>   |                           |
| Recurso de agua dulce   | 7                         |
| Protección de océanos, todo tipo de mares y áreas costeras  | 5                         |
| Enfoque integrado para la planeación y administración de recursos del suelo   | 3                         |
| Manejo de ecosistemas frágiles: Combate a la desertificación y la sequía  | 4                         |
| Manejo de ecosistemas frágiles: Desarrollo sustentable en áreas montañosas  | 3                         |
| Promoción de la agricultura sustentable y desarrollo rural  | 7                         |
| Combate a la deforestación  | 4                         |
| Conservación de la diversidad biológica   | 2                         |
| Manejo ambientalmente limpio de desechos sólidos y aspectos relacionados con aguas servidas   | 5                         |
| Manejo ambientalmente limpio de sustancias químicas tóxicas   | 2                         |
| Manejo ambientalmente limpio de desechos peligrosos   | 4                         |
| Manejo seguro y ambientalmente limpio de desechos radiactivos   | 1                         |

|   |              |            |
|---|--------------|------------|
|   | SUBTOTAL     | 55         |
| <b>ASPECTOS INSTITUCIONALES</b>                                   |              |            |
| Integración del ambiente y el desarrollo en la toma de decisiones |              | 4          |
| Ciencia para el desarrollo sustentable                            |              | 3          |
| Instrumentos y mecanismos legales internacionales                 |              | 2          |
| Información para la adopción de decisiones                        |              | 3          |
|   | SUBTOTAL     | 15         |
|   | <b>TOTAL</b> | <b>134</b> |

Fuente: INEGI [69]

A continuación se listan los indicadores de sustentabilidad propuestos por la CDS de acuerdo a lo presentado por el INEGI [69], se especifica de además su correspondencia con los criterios del sistema PER. A partir de estas medidas de sustentabilidad se desarrollará más adelante una delimitación de los indicadores para elaborar la propuesta metodológica objeto de la presente investigación.

## INDICADORES SOCIALES

Tabla 3. Indicadores Sociales para el Desarrollo Sustentable

| INDICADORES |   | Elaborados | Alternativos | En Desarrollo | No disponible | Esquema PER | Responsable de Recopilar / Elaborar |
|-------------|---|------------|--------------|---------------|---------------|-------------|-------------------------------------|
|             |   |            |              |               |               |             |                                     |
| 1           | Tasa de desempleo   | x          |              |               |               | P           | INEGI                               |
| 2           | Índice general de pobreza   | x          |              |               |               | E           | INEGI                               |
| 3           | Índice del grado de pobreza   |            |              | x             |               | E           |                                     |
| 4           | Índice del grado de pobreza al cuadro                                   |            |              | x             |               | E           | INEGI                               |
| 5           | Índice de Gini sobre desigualdad del ingreso                            | x          |              |               |               | E           | INEGI                               |
| 6           | Relación mujeres entre los salarios medios de los hombres y las mujeres | x          |              |               |               | E           | INEGI                               |
| 7           | Tasa de crecimiento de la población                                     | x          |              |               |               | P           | INEGI                               |
| 8           | Tasa de migración neta por lugar de residencia                          | x          |              |               |               | P           | INEGI                               |
| 9           | Tasa de fecundidad total  | x          |              |               |               | P           | INEGI                               |
| 10          | Densidad de población   | x          |              |               |               | E           | INEGI                               |
| 11          | Tasa de cambio de la población en edad escolar                          | x          |              |               |               | P           | INEGI                               |
| 12          | Tasa bruta de matrícula escolar en primaria                             | x          |              |               |               | P           | INEGI                               |
| 13          | Tasa neta de matrícula escolar en primaria                              | x          |              |               |               | P           | INEGI                               |
| 14          | Tasa bruta de matrícula escolar en secundaria                           | x          |              |               |               | P           | INEGI                               |
| 15          | Tasa neta de matrícula escolar en secundaria                            | x          |              |               |               | P           | INEGI                               |
| 16          | Tasa de alfabetización de adultos                                       | x          |              |               |               | P           | INEGI                               |
| 17          | Niños que alcanzan el quinto grado de educación primaria                | x          |              |               |               | E           | INEGI                               |
| 18          | Esperanza de vida escolar   | x          |              |               |               | E           | INEGI                               |

|    |  |   |  |  |   |   |       |
|----|--|---|--|--|---|---|-------|
| 19 | Diferencia entre matrícula escolar masculina y femenina  | x |  |  |   | E | INEGI |
| 20 | Mujeres por cada 100 hombres en la fuerza de trabajo   | x |  |  |   | E | INEGI |
| 21 | Porcentaje del producto interno bruto (PIB) destinado a educación  | x |  |  |   | R | INEGI |
| 22 | Saneamiento básico: Porcentaje de la población que dispone de instalaciones adecuadas para la eliminación de excreta | x |  |  |   | E | INEGI |
| 23 | Acceso seguro a agua potable   | x |  |  |   | E | INEGI |
| 24 | Esperanza de vida al nacer   | x |  |  |   | E | INEGI |
| 25 | Peso suficiente al nacer   | x |  |  |   | E | INEGI |
| 26 | Tasa de mortalidad infantil (TMI)  | x |  |  |   | E | INEGI |
| 27 | Tasa de mortalidad materna (TMM)   | x |  |  |   | E | INEGI |
| 28 | Estado nutricional de los niños respecto a los niveles nacionales  | x |  |  |   | E | INEGI |
| 29 | Porcentaje de la población infantil que ha sido inmunizada acorde con las políticas nacionales                       | x |  |  |   |   |       |
| 30 | Tasa de utilización de métodos anticonceptivos   | x |  |  |   | R | INEGI |
| 31 | Proporción de químicos potencialmente peligrosos monitoreados en los alimentos                                       |   |  |  | X | R |       |
| 32 | Gasto nacional en servicios locales de salud   | x |  |  |   | R | INEGI |
| 33 | Gasto total en salud respecto al Producto interno bruto (PIB)  | x |  |  |   | R | INEGI |
| 34 | Tasa de crecimiento de la población urbana   | x |  |  |   | P | INEGI |
| 35 | Consumo de combustible por habitantes en vehículos de motor  | x |  |  |   | P | INEGI |
| 36 | Pérdidas humanas y ecológicas debido a desastres naturales   | x |  |  |   | P | INE   |
| 37 | Porcentaje de población que vive en zonas urbanas  | x |  |  |   | E | INEGI |
| 38 | Área y población de asentamientos urbanos formales o informales  |   |  |  |   | X | E     |
| 39 | Área habitable por persona   |   |  |  |   | X | E     |
| 40 | Precio de vivienda en proporción al ingreso  |   |  |  |   | X | E     |
| 41 | Gasto de infraestructura por habitante   | x |  |  |   | R | INEGI |

Fuente: INEGI [69]

**INDICADORES ECONÓMICOS**

Tabla 4. Indicadores Económicos para el Desarrollo Sustentable

| <b>CATEGORÍA ECONÓMICA</b> |            |              |               |               |             |                                     |
|----------------------------|------------|--------------|---------------|---------------|-------------|-------------------------------------|
| <b>INDICADORES</b>         | Elaborados | Alternativos | En Desarrollo | No disponible | Esquema PER | Responsable de Recopilar / Elaborar |
|                            |            |              |               |               |             |                                     |
| 42                         | x          |              |               |               | P           | INEGI                               |
| 43                         | x          |              |               |               | P           | INEGI                               |

|    |   |   |   |   |  |   |       |
|----|---|---|---|---|--|---|-------|
| 44 | Suma de exportaciones e importaciones en proporción al PIB  | x |   |   |  | P | INEGI |
| 45 | Producto interno neto ajustado ambientalmente por habitante   | x |   |   |  | E | INEGI |
| 46 | Participación de las manufacturas en la exportación total de las mercancías                                       | x |   |   |  | E | INEGI |
| 47 | Consumo anual de energía por habitante  | x |   |   |  | P | INEGI |
| 48 | Participación de las industrias intensivas en recursos naturales no renovables en el valor agregado manufacturero | x |   |   |  | P | INEGI |
| 49 | Reservas minerales probadas   |   | x |   |  | E | INEGI |
| 50 | Reservas probadas de fuentes energéticas fósiles  | x |   |   |  | E | INEGI |
| 51 | Duración de las reservas probadas de energía  | x |   |   |  | E | INEGI |
| 52 | Intensidad de uso de materiales   |   |   | x |  | E | INEGI |
| 53 | Participación del valor agregado manufacturero en el PIB  | x |   |   |  | E | INEGI |
| 54 | Participación del consumo de recursos energéticos renovables  | x |   |   |  | E | INEGI |
| 55 | Transferencia neta de recursos/Producto interno bruto (PIB)   | x |   |   |  | P | INEGI |
| 56 | Total de asistencia oficial para el desarrollo (AOD), dada o recibida, como porcentaje del PIB                    |   |   | x |  | E | INE   |
| 57 | Deuda/PIB   | x |   |   |  | E | INEGI |
| 58 | Servicio de la deuda externa respecto a las exportaciones   | x |   |   |  | E | INEGI |
| 59 | Gasto en protección ambiental como proporción del PIB   | x |   |   |  | R | INEGI |
| 60 | Cantidad de financiamiento nuevo o adicional para el desarrollo sustentable                                       |   |   | x |  | R | INE   |
| 61 | Importación de bienes de capital  | x |   |   |  | P | INEGI |
| 62 | Inversión extranjera directa  | x |   |   |  | P | INEGI |
| 63 | Participación de bienes de capital ambientales limpios en la importación total de bienes de capital               |   | x |   |  | E | INEGI |
| 64 | Ayuda a la cooperación técnica  |   |   | x |  | R | INE   |

Fuente: INEGI [69]

## INDICADORES AMBIENTALES

Tabla 5. Indicadores Ambientales para el Desarrollo Sustentable

| CATEGORÍA AMBIENTAL |  |            |              |               |               |             |                                     |
|---------------------|--|------------|--------------|---------------|---------------|-------------|-------------------------------------|
| INDICADORES         |  | Elaborados | Alternativos | En Desarrollo | No disponible | Esquema PER | Responsable de Recopilar / Elaborar |
| 65                  | Extracción anual de agua subterránea y superficial     | x          |              |               |               | P           | INE                                 |
| 66                  | Consumo doméstico de agua por habitante                | x          |              |               |               | P           | INE                                 |
| 67                  | Reservas de aguas subterráneas                         |            | x            |               |               | E           | INE                                 |
| 68                  | Concentración de coliformes fecales en agua dulce      |            | x            |               |               | E           | INE                                 |
| 69                  | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en cuerpos de agua | x          |              |               |               | E           | INE                                 |
| 70                  | Tratamiento de aguas residuales                        | x          |              |               |               | R           | INE                                 |
| 71                  | Densidad de las redes hidrológicas                     | x          |              |               |               | R           | INE                                 |

|     |  |   |   |  |   |   |           |
|-----|--|---|---|--|---|---|-----------|
| 72  | Crecimiento de la población en áreas costeras  | x |   |  |   | P | INE       |
| 73  | Descargas de petróleo en aguas costeras  |   |   |  | X | P |           |
| 74  | Descargas de nitrógeno y fósforo en aguas costeras                                     |   |   |  | X | P |           |
| 75  | Rendimiento máximo sustentable de las pesquerías                                       | x |   |  |   | E | INE       |
| 76  | Índice de algas  |   |   |  | X | E |           |
| 77  | Cambios en el uso de suelos  | x |   |  |   | P | INE       |
| 78  | Cambios en la condición de las tierras   | x |   |  |   | E | INE       |
| 79  | Administración descentralizada de los recursos naturales a nivel local                 |   |   |  | X | R |           |
| 80  | Población que vive por debajo de la línea de pobreza en las tierras áridas             |   |   |  | X | P |           |
| 81  | Índice nacional de precipitación pluvial mensual                                       | x |   |  |   | E | INE       |
| 82  | Índice de vegetación obtenido de imágenes de satélite                                  |   |   |  | X | E |           |
| 83  | Tierras afectadas por la desertificación   | x |   |  |   | E | INE       |
| 84  | Cambio de la población de áreas montañosas   |   |   |  | X | P |           |
| 85  | Uso sustentable de los recursos naturales en las áreas montañosas                      |   |   |  | X | E |           |
| 86  | Bienestar de poblaciones de áreas montañosas   |   |   |  | X | E |           |
| 87  | Uso de pesticidas agrícolas  | x |   |  |   | P | INEGI     |
| 88  | Uso de fertilizantes   | x |   |  |   | P | INEGI     |
| 89  | Tierra de regadío como porcentaje de tierras cultivables                               | x |   |  |   | P | INEGI/INE |
| 90  | Uso de energía en la agricultura   | x |   |  |   | P | INEGI     |
| 91  | Tierra cultivable por habitante  | x |   |  |   | E | INEGI/INE |
| 92  | Superficie de tierra afectada por salinización y anegamiento                           |   | x |  |   | E | INE       |
| 93  | Educación agrícola   |   | x |  |   | R | INEGI     |
| 94  | Intensidad de la producción de madera  |   | x |  |   | P | INE       |
| 95  | Variación de la superficie de bosques  | x |   |  |   | E | INE       |
| 96  | Proporción de la superficie forestal administrada                                      | x |   |  |   | R | INE       |
| 97  | Proporción de la superficie forestal protegida respecto a la superficie forestal local | x |   |  |   | R | INE       |
| 98  | Especies amenazadas respecto al total de especies nativas                              | x |   |  |   | E | INE       |
| 99  | Superficie protegida como porcentaje de la superficie total                            | x |   |  |   | R | INE       |
| 100 | Gasto en investigación y desarrollo en biotecnología                                   |   | x |  | X | R |           |
| 101 | Existencia de regulaciones o lineamiento de bioseguridad                               |   | x |  | X | R |           |
| 102 | Emisiones de gases de efecto invernadero   | x |   |  |   | P | INE       |
| 103 | Emisiones de dióxido de azufre   | x |   |  |   | P | INE       |
| 104 | Emisiones de dióxido de nitrógeno  | x |   |  |   | P | INE       |
| 105 | Consumo de sustancias que agotan la capa de ozono                                      | x |   |  |   | P | INE       |
| 106 | Concentraciones de contaminantes en zonas urbanas                                      | x |   |  |   | P | INE       |
| 107 | Gasto sobre abatimiento de la contaminación atmosférica                                | x |   |  |   | R | INEGI     |
| 108 | Generación de desechos sólidos industriales y municipales                              | x |   |  |   | P | INE       |



|     |  |   |   |  |  |   |       |
|-----|--|---|---|--|--|---|-------|
| 109 | Eliminación de desechos domésticos por habitante           | x |   |  |  | P | INE   |
| 110 | Gasto en manejo de desechos                                |   | x |  |  | R | INE   |
| 111 | Reciclado y reutilización de desechos                      | x |   |  |  | R | INE   |
| 112 | Eliminación de desechos municipales                        | x |   |  |  | R | INE   |
| 113 | Intoxicaciones agudas por productos químicos               |   | x |  |  | E | INE   |
| 114 | Productos químicos prohibidos o rigurosamente restringidos |   | x |  |  | R | INE   |
| 115 | Generación de desechos peligrosos                          | x |   |  |  | P | INE   |
| 116 | Importación y exportación de desechos peligrosos           |   | x |  |  | P | INE   |
| 117 | Superficie de suelos contaminados con desechos peligrosos  |   | x |  |  | E | INE   |
| 118 | Gasto en tratamiento de desechos peligrosos                |   | x |  |  | R | INEGI |
| 119 | Generación de desechos radiactivos                         | x |   |  |  | P | INEGI |

Fuente: INEGI [69]

### INDICADORES INSTITUCIONALES

Tabla 6. Indicadores Institucionales para el Desarrollo Sustentable

| <b>CATEGORIA INSTITUCIONAL</b> |  |                   |                     |                      |                      |                    |  |
|--------------------------------|--|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--|
| <b>INDICADORES</b>             |  | <b>Elaborados</b> | <b>Alternativos</b> | <b>En Desarrollo</b> | <b>No disponible</b> | <b>Esquema PER</b> | <b>Responsable de Recopilar / Elaborar</b> |
| 120                            | Estrategia de desarrollo sustentable   | x                 |                     |                      |                      | R                  | INEGI                                      |
| 121                            | Programa de cuentas económicas y ecológicas integradas   | x                 |                     |                      |                      | R                  | INEGI                                      |
| 122                            | Evaluación por mandato legal del impacto ambiental   | x                 |                     |                      |                      | R                  | INE/INEGI                                  |
| 123                            | Consejos nacionales para el desarrollo sustentable   | x                 |                     |                      |                      | R                  | INE/INEGI                                  |
| 124                            | Potencial de científicos e ingenieros por millón de habitantes   | x                 |                     |                      |                      | E                  | INE/INEGI                                  |
| 125                            | Desarrollo experimental Científicos ingenieros por millón de habitantes  | x                 |                     |                      |                      | R                  | INE/INEGI                                  |
| 126                            | Gasto a investigación en proporción al PIB   | x                 |                     |                      |                      | R                  | INE/INEGI                                  |
| 127                            | Ratificación de acuerdos globales  | x                 |                     |                      |                      | R                  | INE/INEGI                                  |
| 128                            | Instrumentación de los acuerdos globales ratificados   | x                 |                     |                      |                      | R                  | INE/INEGI                                  |
| 129                            | Líneas telefónicas principales por 100 habitantes  | x                 |                     |                      |                      | E                  | INEGI                                      |
| 130                            | Acceso a la información  | x                 |                     |                      |                      | E                  | INEGI                                      |
| 131                            | Programa nacional de estadísticas ambientales  | x                 |                     |                      |                      | R                  | INEGI                                      |
| 132                            | Representación de los grupos principales en los consejos nacionales para el desarrollo sustentable                   |                   | x                   |                      |                      | R                  | INE  |
| 133                            | Representación de minorías étnicas y poblaciones indígenas en los consejos nacionales para el desarrollo sustentable |                   | x                   |                      |                      | R                  | INE  |
| 134                            | Contribución de las organizaciones no gubernamentales al desarrollo sustentable                                      |                   | x                   |                      |                      | R                  | INE  |
|                                |  | <b>97</b>         | <b>16</b>           | <b>6</b>             | <b>15</b>            |                    |  |
| <b>Subtotal</b>                |  |                   |                     |                      | <b>134</b>           |                    |  |

Fuente: INEGI [69]

# CAPÍTULO IV-PLANEACIÓN UN ENFOQUE MULTICRITERIO

## EL PROCESO DE PLANEACIÓN

### PLANEACIÓN POR ESCENARIOS

Según lo mencionado por Carpenter [88], la planeación por escenarios es un método para pensar creativa y sistemáticamente acerca de futuros complejos. Los escenarios son conjuntos de alternativas plausibles, sustentadas en información y simulaciones, estos escenarios son representaciones de cómo el futuro podría avizorarse considerando varias alternativas de decisión. En el contexto de sustentabilidad los escenarios organizan información compleja en coherentes, recordables y detalladas narrativas que ayudan a los tomadores de decisión a conceptualizar el futuro. Estas narrativas ilustran una variedad de futuros posibles, y los encargados de seleccionar las alternativas, pueden robustecer el modelo por medio de la determinación de los posibles comportamientos globales de las consecuencias de una u otra alternativa. A diferencia del enfoque planteado por la Teoría de Decisiones, en este enfoque no es necesaria la asignación de probabilidades o valores a las alternativas.

El futuro de los seres humanos no está definido y no se puede deducir de forma sencilla mediante ecuaciones matemáticas. Tampoco está sujeto al azar, ya que el pasado y el presente lo condicionan. La investigación sobre el futuro implica anticiparse los hechos venideros y poder reaccionar. La prospectiva es la disciplina que se encarga de los estudios de futuro. La prospectiva es el estudio de las causas científicas, técnicas, económicas, políticas, sociales y culturales que aceleran la evolución del mundo y la previsión de las situaciones que surgen de sus interacciones. Hacer prospectiva es interrogarse sobre los grandes problemas y desafíos de la sociedad y explorar los posibles futuros. La prospectiva provee metodologías y herramientas para el estudio y exploración de los posibles futuros. Una de estas metodologías es la construcción de escenarios de futuro.

Kahn introdujo el término escenario dentro de la planificación. Desarrolló los escenarios gracias a estudios militares y estratégicos realizados en la década de 1950, trabajando para la *Rand Corporation*. El término escenario el popularizaron Kahn y Weiner en la década de 1960, debido a los escenarios realizados como consecuencia de la guerra fría, con la finalidad de desarrollar el estudio de las posibilidades futuras de orden mundial [89].

Los escenarios de futuro proveen una herramienta para la planificación creativa del futuro y tienen la capacidad de prepararnos para el cambio y la incertidumbre, ya que intentan anticipar los futuros posibles en la complejidad que caracteriza el actual sistema en que estamos inmersos como humanidad.

En general, los escenarios los utilizan los decisores para comunicar planes de futuro y prever posibles cambios que se producirán en un futuro próximo. Los escenarios facilitan la adaptación a

estos cambios, ya que realizan tareas de anticipación. Son esenciales para la gestión, ya que permiten tomar decisiones en el presente previendo los posibles cambios que tendrán lugar en el futuro.

Los beneficios de utilizar la planeación por escenarios en la toma de decisiones cuando el futuro es complejo y bajo incertidumbre pueden ser ilustrados por ejemplos del mundo de los negocios. En la década de 1980, IBM no considero este enfoque como parte de su proceso de planeación, y sobrestimó el crecimiento del mercado de los computadores personales, el grado de desviación fue de alrededor 100 veces la apreciación de sus pronósticos [90]. Por otro lado está el caso de Shell, empresa que utiliza ampliamente este enfoque, muestra de su aplicabilidad es el caso en 1970 cuando sus analistas pronosticaron la caída de los precios del crudo, considerando además escenarios en los que evaluó la posibilidad que un consorcio de países limitara la producción e impulsase los precios. Shell utilizo esto para adaptarse más rápidamente que sus competidores y convertirse en la segunda compañía más grande del mundo en su giro [91].

Cuando se pretende generar un marco de planeación y evaluación de alternativas con base en múltiples criterios, es importante mantenerse alerta para no caer en un error recurrente presentado en el estudio de Keepin y Wynne [92], donde los involucrados en la creación de estos modelos son incapaces de percibir sus propias suposiciones y prejuicios; pudiendo potencialmente estar equivocados. Respecto a esto no existe una alternativa totalmente efectiva para evitar este tipo de fenómenos salvo el ser reflexivo y mantener apertura en el proceso para incluir una variedad de visiones del entorno decisorio [93] y del mismo modo mantener un amplio criterio sobre las distintas alternativas metodológicas para atacar la dinámica compleja de un entorno difícil de reproducir.

#### DEFINICIÓN Y UTILIDAD

Un escenario es una herramienta de análisis que describe un conjunto posible de condiciones de futuro. Los escenarios son fotogramas de lo que puede llegar a ser. Los escenarios no son exclusivamente proyecciones de la situación pasada y actual en el futuro, sino que proveen diferentes vías o caminos para ayudar a la gente a ver las implicaciones que tienen sus decisiones actuales en el futuro y facilitar la adaptación a los cambios [94]. Los escenarios son herramientas útiles cuando la complejidad y la incertidumbre del sistema son elevadas, ya que estimulan nuevas formas de pensamiento para facilitar la adaptación a este futuro incierto [8]. Los escenarios son descripciones narrativas del futuro en las que el foco principal se centra especialmente en los procesos causales y los puntos para la toma de decisiones [89]. Según Godet, un escenario es un conjunto formado por la descripción de una situación futura y la progresión de los eventos que permitan pasar de la situación de origen a la situación de futuro [95].

La utilidad que tienen los escenarios es ayudar a la gente a cambiar sus esquemas o mapas mentales, de cómo hacer las cosas, ya que permiten tratar o jugar con la incertidumbre del futuro y percibir las consecuencias que tienen las acciones presentes en un futuro a corto o largo plazo.

El mundo globalizado en que vivimos se caracteriza por muchos cambios que transcurren en gran velocidad, y todos rodeados de una gran incertidumbre, lo que facilita que el pensamiento racional que tenemos, en general, se nutra de la experiencia acumulada, y esto hace que, ante una situación desconocida, muchas veces quede bloqueado.

Estas barreras psicológicas hacen que no pueda pensar con claridad y con perspectiva de previsión de futuro. Los escenarios proveen una herramienta que facilita la anticipación a estas hipotéticas situaciones: favorece la previa percepción de diferentes posibles futuros y ayuda a la adaptación cuando estas situaciones se convierten en cercanas. Es un proceso de aprendizaje interactivo.

Los escenarios son potentes herramientas de planificación, precisamente porque el futuro es incierto e impredecible. Los escenarios presentan imágenes alternativas a la extrapolación de las actuales tendencias hacia el futuro y ayudan a la comunicación de opciones o alternativas complejas. Los buenos escenarios son plausibles y sorprendentes y tienen la capacidad de romper viejos estereotipos, y se pueden ver muchas veces signos de alerta, los que, después de sorprendernos, uno se puede adaptar y en los que puede actuar de manera eficaz. Las decisiones que se tomen pueden ser experimentadas por ver las consecuencias e implicaciones, con lo que se puede actuar en el presente con las mejores estrategias de cara a conseguir el futuro deseado, y eso es una gran ventaja.

El resultado de la planificación de futuros escenarios no es la realización de la mejor fotografía del futuro, sino que es pensar y actuar estratégicamente en el presente para mejorar nuestro futuro.

Un escenario no es una predicción de un pronóstico específico por sí mismo; preferentemente es una descripción de lo que puede pasar. Los escenarios describen hechos y tendencias y cómo pueden evolucionar. Los escenarios de futuro son una forma de desarrollar futuros alternativos basados en diferentes combinaciones de supuestos, hechos y tendencias.

#### CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS DE FUTURO

Para la construcción de escenarios de futuro es necesario hacer una serie de pasos [96]. En primer lugar, hay que tener en cuenta la estructura actual del sistema complejo, hacer un diagnóstico del presente a partir de elementos del pasado que han influido, identificando las Fuerzas Conductoras, es decir, las fuerzas motrices de la problemática y sus criterios de evaluación. Estas fuerzas motrices normalmente se pueden clasificar en cuatro categorías:

- *DINÁMICA SOCIAL*: incluye tendencias demográficas, estilos de vida, valores, creencias religiosas.
- *DINÁMICA ECONÓMICA*: aquí podemos diferenciar las tendencias macroeconómicas y las tendencias microeconómicas.
- *DINÁMICA POLÍTICA*: regulaciones y legislaciones.
- *DINÁMICA TECNOLÓGICA*: incluye las posibilidades tecnológicas.

Cuanto más fuerzas motrices identificadas, mayor será la complejidad para la construcción de los escenarios de futuro.

Además de la identificación de las fuerzas motrices, es necesario determinar el año base del escenario a partir del cual trabajaremos. El año base es un año reciente del que hemos de disponer de todos los datos necesarios. A partir del año base se determina los años del escenario, los años a los que se pretende aplicar el estudio. Una vez identificadas las fuerzas motrices y sus tendencias, así como el año base y los años de aplicación del escenario, se plantea una serie de incertidumbres con diferentes grados, las que tenemos que ordenar e identificar su criticidad, y serán estas las que se consideren en los escenarios futuros por orden de importancia, para este proceso en algunos estudios revisados, [13], [30], [61] se ha empleado el uso de MCDA.

A continuación se ha de identificar los factores que dinamizan las fuerzas motrices. Estos factores pueden ser internos o externos al sistema. Es conveniente separar los factores coyunturales de los factores estructurales. Después se identificarán las restricciones, ya sean naturales, económicas, políticas, técnicas, etc.

Posteriormente, se construyen los escenarios, uno para cada hipótesis de futuro que se considere y para cada factor motor [97].

Una vez contruidos los escenarios, se pasará a hacer el análisis de los resultados obtenidos, intentando identificar los factores clave en el tiempo para cada uno de los escenarios realizados.

Para cada escenario se definirán una serie de indicadores representativos, los cuales será muy interesante monitorizar para hacer el seguimiento.

Es importante tener en cuenta que entender el futuro es esencial pe diseñar estrategias.

## TIPO DE ESCENARIOS

En el proceso de planeación por escenarios, es posible identificar dos tipos de escenarios:

- Escenario de futuro de referencia.
- Escenarios de futuro alternativos.

### *EL ESCENARIO DE FUTURO DE REFERENCIA*

Es el escenario de proyección de tendencias. Es aquel escenario que describe la evolución en el futuro de las fuerzas motrices más importantes del sistema, partiendo de las condiciones presentes de las variables que dinamizan las fuerzas motrices y de sus tendencias históricas. Lo que se hace es la proyección de las tendencias históricas de las variables seleccionadas en el futuro. Es la extrapolación de variables. Involucra primero un componente retrospectivo, para después proyectar.

### *LOS ESCENARIOS DE FUTURO ALTERNATIVOS*

Son aquellos escenarios obtenidos aplicando diferentes hipótesis en las variables seleccionadas, ya sean hipótesis posibles y/o deseables.

Los escenarios alternativos son un conjunto coherente de hipótesis respecto de cómo evolucionará una problemática, según como se comporten y articulen los diferentes factores que intervienen, los mecanismos de evolución del problema y las estrategias los diferentes actores [98].

Sólo es generar aproximaciones parciales del comportamiento posible de una realidad. A la hora de elegir una determinada metodología de representación de la problemática objeto del proceso de planeación para su aplicación, deben considerarse tres factores: el primero lo determina el análisis que requiere del proceso decisorio, el segundo, los datos disponibles, y el tercero y último, en función de la escala a que se quiera trabajar.

Los escenarios de futuro son una potente herramienta de previsión, ya que nos facilitan la toma de decisiones y nos permiten ver las consecuencias que tendrán nuestras decisiones presentes en el futuro.

---

## LA VENTAJA COMPETITIVA

Una fuente sustentable de ventaja competitiva radica en la innovación, siendo parte de ella el aprendizaje respecto a tomar decisiones, y entender los cambios en el entorno más ágilmente que la competencia, De Geus [99] sostiene que el origen del crecimiento sostenido de una organización, proviene del entendimiento de su entorno cambiante y la adaptabilidad del proceso de planeación para evaluar alternativas considerando a todos los actores implicados.

En el actual proceso de globalización económica, las empresas, los sectores industriales están obligados a ser competitivos e innovadores. La competitividad se refiere a la creación y al mantenimiento de un mercado en el que participan numerosas empresas y donde se determina el precio conforme a la ley de la oferta y la demanda.

Desde el punto de vista microeconómico, la competitividad se refiere a la capacidad de las empresas para competir y, con base en su éxito, ganar cuota de mercado, incrementar sus beneficios y crecer.

Algunos de los factores más representativos de la competitividad desde la perspectiva microeconómica son los relacionados con los precios y los costos *v. g.*, la capacidad para ofrecer menores precios que los de los competidores, para reducir los costos (de capital, de mano de obra y de materias primas) o para implementar las estrategias orientadas a la reducción de los costos de financiamiento, como lo es la vinculación del incremento de los salarios con el crecimiento de la productividad, entre otros.

Otros son los relacionados con la calidad de los productos *v. g.*, las innovaciones tecnológicas en los productos y en los procesos, las adecuaciones en las estructuras de las organizaciones, la capacidad para desarrollar y mantener redes de trabajo con otras empresas, las relaciones con el sector público y las universidades y la capacitación continua de los trabajadores, entre otros [100].

En todas estas variables incide poderosamente la capacidad de decisión de las personas responsables.

Tanto en la determinación del precio de un producto como en la elección sobre la mayor inversión en proyectos de innovación, los tomadores de decisiones de las empresas y los sectores industriales tienen que asumir el riesgo que representa cada una de estas opciones, para lo cual es necesario que cuenten con instrumentos que les permitan ponderar un mayor grado de certidumbre.

En lo que respecta al nivel macroeconómico, la competitividad es la aptitud de los países, regiones o localidades para fomentar que las empresas produzcan bienes y servicios, capaces de competir eficazmente con el exterior (y en el exterior), y que los beneficios derivados impacten en el incremento de la renta. Por consiguiente, los tomadores de decisiones, que en este caso son los políticos y los funcionarios, tienen que asumir la responsabilidad de elegir cuáles serán las estrategias para encaminar a los países, las regiones y las localidades por la senda del progreso

Nelson y Winter [101] llegaron a la conclusión de que las empresas, los sectores industriales y las regiones están fuertemente limitados para alcanzar la plena optimización de sus opciones, debido a que las variables necesarias para el correcto análisis de las posibilidades son inconmensurables.

En todo caso, sugieren que es preferible que las empresas, los sectores industriales y las regiones utilicen reglas generales, pero que estén en constante adaptación a los cambios que se registran en el entorno.

Es necesario identificar cuáles son algunos de los más notables métodos de decisión multicriterio para elegir alternativas que fomenten la competitividad en las empresas y los sectores industriales. Con el interés de resumir toda la información y poder proporcionar una jerarquización de prioridades de las alternativas que impulsen la competitividad de las empresas y los sectores industriales, se sugiere utilizar el proceso matemático llamado sintetización, que consiste en obtener un sistema de valores, consistente con las preferencias subjetivas mostradas y recogidas en la matriz de comparaciones pareadas.

Para aplicar el método AHP no hace falta contar con información cuantitativa sobre el resultado que alcanza cada alternativa en cada uno de los criterios considerados, sino tan sólo los juicios de valor de la persona que tome las decisiones. Para llevar a cabo el proceso se tienen que realizar los siguientes pasos [102]:

- a) sumar los valores de cada columna de la matriz de comparaciones pareadas;
- b) dividir cada elemento de la matriz entre el total de su columna, y
- c) calcular el promedio de los elementos de cada línea de las prioridades.

---

#### CARÁCTER MULTICRITERIO DE LA PLANEACIÓN

Es relevante para tomar una decisión estratégica la formulación de escenarios; éstos son descriptores de retos futuros y constituyen modelos representativos de la posible evolución de los factores externos al entorno organizacional [99], [91]. Como compleja es la realidad, y múltiples enfoques son necesarios para representarla; como la física, la química, la psicología y otras disciplinas intentan recrear la fenomenología de la realidad desde distintos puntos de vista, así también la generación de escenarios se debe apoyar en enfoques multidisciplinarios para recrear horizontes de planeación.

Las complejas relaciones existentes entre la incertidumbre, los objetivos y las alternativas estratégicas que son parte integral de la evaluación de opciones estratégicas pueden ser mejor comprendidas formulando escenarios [16], ayudan además a mantener en enfoque en la problemática, los puntos críticos, los supuestos o incertidumbres y son herramientas para definir prioridades estratégicas cuando existen múltiples objetivos [103]. El Análisis Multicriterio de la Decisión (MCDA) constituye un enfoque adecuado ante criterios difíciles de cuantificar, conflictivos y difíciles de comparar, para salvar los vacíos que presentan estas técnicas respecto a la incertidumbre se considera apoyarse además en las técnicas de planeación por escenarios; este

marco de trabajo puede brindar equilibrio entre los componentes analíticos e intuitivos del proceso decisorio, así como entre las funciones de análisis y gestión [104].

Relaciones dinámicas entre los elementos de análisis como los existentes entre aspectos socio ecológicos, socioeconómicos, preferencias humanas y creencias por mencionar algunas son en ocasiones poco entendidos por los tomadores de decisión [4], otra fuente de incertidumbre es la amplitud del marco geográfico y temporal en un mundo globalizado que involucra muchas veces limitada información disponible. Enfoques para la toma de decisiones con elevado grado de complejidad e incertidumbre son desarrollados en una variedad de campos del conocimiento, incluyen la economía, la ecología, y las ciencias de la administración entre otras.

---

## LA DECISIÓN EN EL PROCESO DE PLANEACIÓN

Un marco metodológico robusto<sup>3</sup> tiene una gran importancia para sustentar la toma de decisión en el proceso de planeación [20], la robustez del método le proporciona capacidad de respuesta a una variedad de cambios en los factores no controlables del portafolio de horizontes de planeación.

La planeación consiste en usar algunos escenarios contrastantes para explorar la incertidumbre que rodea las consecuencias futuras de una decisión. Idealmente, los escenarios deberán ser construidos por un grupo diverso de personas, formando equipos multidisciplinarios integrados por expertos en el área problemática, analistas, y considerando la complejidad del caso, así como la variedad de criterios para evaluar una decisión es fundamental integrar a este equipo de trabajo personas con el conocimiento adecuado para dar el mejor tratamiento a la información que se tenga a disposición con el fin fundamental de obtener los resultados que de mayor provecho sean para el proceso decisorio; sean estos alternativos o cursos de acción, o bien información adicional que mejore visibilidad del problema.

---

## EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Considerando la variedad de criterios de evaluación implicados en un marco de trabajo fundamentado en el desarrollo de un entorno sustentable, el conjunto de valores que puedan tomar los criterios de evaluación de las alternativas potenciales es incierto, y mayor incertidumbre se presenta en las probabilidades de ocurrencia, el efecto de las alternativas o sus beneficios netos [4]. La teoría de decisiones, los límites decisorios o *thresholds*, la creación de escenarios de planeación y el pensamiento resiliente<sup>4</sup> pueden incrementar la conciencia de los potenciales comportamientos futuros de los elementos de los escenarios en el proceso de planeación [4].

Un marco sustentable comprende sistemas adaptables complejos que pueden presentar relaciones de orden no lineal, dependencia histórica y limitada predictibilidad [105]. Un enfoque hacia los umbrales decisorios o *thresholds* puede ser útil en problemáticas complejas para enfocar

---

<sup>3</sup> La robustez del modelo para este estudio hace referencia a la validez de los resultados de la metodología para la totalidad o la mayoría de los escenarios, un escenario es un posible conjunto de valores de los datos del proceso de planeación y de los parámetros del modelo mismo [136].

<sup>4</sup> Resiliencia: *f. Psicol.* Capacidad humana de asumir con flexibilidad situaciones límite y sobreponerse a ellas [137].



la atención en los valores limitantes de criterios con posibles consecuencias de mayor cuidado, éstas limitantes pueden ser consideraciones a nivel global que definen importantes límites sobre variables ambientales y emisiones a la atmósfera por ejemplo [106]. Límites decisivos pueden ser empleados como filtros para catalogar las alternativas de decisión en base al riesgo, a fin de identificar por ejemplo las alternativas más peligrosas en términos de daño al entorno, impacto social y cultural, grado de riesgo de la inversión, costos asociados, entre otros. Este tipo de enfoque ofrece un grado de incertidumbre al dejar al criterio del analista la asignación del valor exacto del límite decisivo, en ese caso asume también la responsabilidad de determinar el grado de aceptabilidad del riesgo [107], este enfoque es útil cuando se intenta evaluar criterios en un contexto regulatorio o legal, para distinguir lo permisible.

Luego de haber determinado la calidad de la información disponible, así como las incertidumbres clave respecto a los factores internos y externos del sistema, el objetivo de las personas encargadas del proceso decisivo es identificar las variantes en las que el sistema podría evolucionar. Estos futuros de planeación deben ser plausibles y relevantes al objetivo original para el cual se estructura todo el proceso decisivo [108].

La generación de escenarios constituye una herramienta útil en el proceso de planeación, en vista de que permiten reflexionar sobre la dimensión futura de las decisiones y acciones a seguir. Mantener una posición neutral frente a un conjunto de alternativas proporciona una visión clara y estructurada de la situación futura más deseable, es así que la generación de escenarios proporciona un marco de coherencia para evaluar opciones estratégicas de desarrollo organizacional [109].

Las variadas aplicaciones que se les puede dar al uso de escenarios implica que las técnicas de evaluación que tratan de integrar deben ser capaces de:

- Incorporar criterios de carácter subjetivo y hacer frente a múltiples y contradictorios objetivos: Los escenarios son una combinación de análisis y juicio sobre las posibilidades futuras [104]. Una técnica de evaluación usada en la planeación debe reflejar esto, teniendo en consideración la existencia de múltiples preferencias para múltiples atributos a ser tomados en cuenta.
- Capacidad de generar conjuntos de Escenarios de manera ágil: la robustez del modelo como se menciona anteriormente implica que es lo suficientemente significativo para considerar una gama de escenarios que abarcan una diversidad de posibilidades [111]. Siendo una desventaja el tiempo empleado en generar un escenario narrativo de los futuros supuestos.
- El modelo debe proporcionar información sólida para generar y sustentar una decisión, las salidas de la técnica deben permitir la comparación dentro de una escala adecuada, acompañada en lo posible de informativos visuales.

La comparación de casos proporciona una justificación documentada de una elección particular, o una lista de opciones soportadas por una elaboración de una evaluación de las condiciones en las que funcionan mejor [20], [22].

La evaluación formal de escenarios utilizando una metodología de análisis morfológico puede ser adecuada, considerando que el análisis morfológico, puede hacer frente a una considerable incertidumbre, la formulación de escenarios es adecuada para situaciones complejas, situaciones

de incertidumbre, donde son muchos los factores no cuantificables, y donde prácticamente todos los factores son variables, y por tanto se maneja un gran número de variables [112]. Por otro lado, el análisis morfológico incentiva la investigación de las múltiples combinaciones de los valores extremos límite.

---

#### CARÁCTER DINÁMICO DE LA PLANEACIÓN

La innovación tecnológica constituye un eje fundamental para el desarrollo de las operaciones humanas, sin embargo el aparente éxito en la aplicación de ciertas tecnologías como los CFC's durante el siglo XX en refrigeración y aerosoles; pueden tener finalmente consecuencias nocivas para las generaciones futuras. Sin mayor información disponible sobre cómo las actividades y decisiones tomadas en el presente pudieran afectar el entorno futuro, es entonces cuando se vuelve dificultoso proveer información altamente sensible a los tomadores de decisión.

La planeación en un entorno de Desarrollo Sustentable requiere de la habilidad de los directivos de las organizaciones para comprender lo que pasa en su entorno, manejar información actual desde varias perspectivas [4] y actuar sobre esa información para anticiparse de mejor manera al futuro y generar acciones ;es un proceso basado en el aprendizaje de las consecuencias de las decisiones tomadas, donde un enfoque dinámico implica cambiar los esquemas mentales de la organización, su mercado e incluso de la competencia [99].

---

#### INTEGRACIÓN DE PLANEACIÓN POR ESCENARIOS Y MCDA

La integración entre la Planeación por Escenarios (SP) y el Análisis Decisorio Multicriterio (MCDA) es considerado como un acertado enfoque para apoyar la toma de decisiones estratégicas [113]. Las características de ambas metodologías permiten que éstas se complementen para lograr un resultado mayor.

La planificación por escenarios (SP), como anteriormente ya se menciona, ha sido ampliamente utilizada en la toma estratégica de decisiones [91], utiliza narraciones de futuros supuestos para ayudar a quienes toman las decisiones integrando información respecto a las principales incertidumbres que se enfrentan en determinado entorno, siendo esta la base para diseñar estrategias para hacer frente a la incertidumbre [16], [91]. Sin embargo esta metodología para la planeación no cuenta con una fase más detallada de la evaluación de las alternativas, donde las posibles implicaciones de las estrategias a tomarse son estudiadas [114], [115]. Además estos escenarios no son mutuamente excluyentes ni tampoco constituyen un conjunto exhaustivo de estados futuros [103], [16], en este sentido Montibeller *et al* [113] afirma que esto impide el uso de árboles de decisión tradicionales para encontrar la mejor opción principalmente debido a que en este enfoque la incertidumbre impide conocer las probabilidades que están sujetas entre sí y los resultados esperados no pueden ser calculados.

Por otra parte, los métodos MCDA están diseñados para evaluar opciones de planeación considerando múltiples tomadores de decisión [103], que en ocasiones representan objetivos conflictivos entre sí; caso muchas veces presentado en entornos multidisciplinarios como en la planeación para el Desarrollo Sustentable. Adicionalmente proporciona un marco sólido para apoyar el diseño de mejores y más robustas estrategias, ya que permite a los tomadores de

decisión analizar el desempeño de cada estrategia sobre cada objetivo de la organización y así identificar sus debilidades y oportunidades de mejora.

Montibeller *et al* [113] en su revisión de la literatura identifica algunas propuestas como la de Saaty y Kearnes en la que se sugiere el uso del Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process* o AHP) en el contexto de SP, pero los escenarios son conceptualizados como las opciones que los tomadores de decisión desean que sucedan en el futuro. Durbach y Stewart [115] han utilizado un modelo de Programación por Objetivos para obtener una evaluación Multicriterio de las alternativas, teniendo en cuenta diferentes escenarios, finalmente Goodwin y Wright [114], sugieren el uso de una función de atributo de valores múltiples para evaluar las estrategias de acuerdo a diferentes escenarios. Para el presente trabajo se consideran los enfoques anteriormente mencionados, ya que emplean una metodología matemática simple que, sin embargo ha sido ampliamente estudiada y representa reporte de su aplicación no solo en casos hipotéticos de problemas de planeación multicriterio; evitando con esta selección un análisis matemático sofisticado.

# CAPÍTULO V METODOLOGÍAS MULTICRITERIO

## TÉCNICAS DE APOYO PARA LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO

La teoría de la decisión es un enfoque que usa la información disponible para elaborar decisiones óptimas bajo incertidumbre [21]. La incertidumbre es representada por la construcción de un conjunto de posibles estados de la naturaleza<sup>5</sup> del sistema con un conocimiento de la probabilidad de ocurrencia de cada estado. En este enfoque la o las personas a cargo de tomar las decisiones en el proceso de planeación eligen una alternativa de acción de un conjunto finito de alternativas predeterminadas. Las consecuencias de esta decisión son producto de la interacción de las alternativas y los estados de la naturaleza, es entonces posible en base a lo anterior desarrollar un conjunto de probabilidades condicionales para los posibles horizontes de planeación en función de una alternativa de acción a elegir. En este enfoque cada alternativa de acción u horizonte de planeación representa un beneficio neto o utilidad, expresada en una métrica común.

Montibeller *et al* [113] en su revisión de la literatura identifica algunas propuestas como la de Saaty y Kearnes en la que se sugiere el uso del Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process* o AHP) en el contexto de SP, los escenarios son conceptualizados como las opciones que los tomadores de decisión desean que sucedan en el futuro. Durbach y Stewart [115] han utilizado un modelo de Programación por Objetivos y un método de sobrecalificación PROMETHEE para obtener una evaluación Multicriterio de las alternativas, teniendo en cuenta diferentes escenarios. Para el presente trabajo se consideran los enfoques anteriormente mencionados, ya que emplean una metodología matemática simple que, sin embargo ha sido ampliamente estudiada y representa reporte de su aplicación no solo en casos hipotéticos de problemas de planeación multicriterio; evitando con esta selección un análisis matemático sofisticado.

El objetivo general en la Teoría de Decisión es elegir la alternativa de acción que maximice la utilidad esperada, o visto de otra manera; minimizando los costos o los gastos al elegir la alternativa más económica de un conjunto finito de alternativas.

La aplicación de la Teoría de Decisiones puede hacerse de manera iterativa y puede ser diseñada para incorporar el aprendizaje y una administración adaptable. El potencial para obtener nueva información útil para futuras decisiones es un importante enfoque de investigación; crear modelos decisorios como el propuesto por Hoegh-Guldberg [116], en que utiliza arboles de decisión con

---

<sup>5</sup> En la teoría de las decisiones se denomina “estados de la naturaleza” o simplemente “estados” al número finito de eventos futuros posibles, es decir, un conjunto de escenarios posibles. Las circunstancias en las cuales se toma una decisión se llaman estados de la naturaleza. es un grupo de conjuntos mutuamente excluyentes. Es decir, sólo puede ocurrir un estado de la naturaleza [138].

una toma de decisiones secuencial para evaluar alternativas de estrategias de conservación bajo un rápido cambio climático.

La teoría de decisiones presenta la ventaja de que provee una descripción del problema y los objetivos para el proceso decisorio, asocia información cuantitativa, cualitativa, científica y económica en un marco de trabajo coherente para el análisis transparente del curso de acción a tomar. Sin embargo este enfoque presenta una desventaja considerando un marco de trabajo en el que la problemática atiende las necesidades de selección de alternativas, basándose en los ejes de sustentabilidad; requiere más información para generar el modelo que la que generalmente está disponible. En un contexto de sustentabilidad es altamente improbable que el/los tomadores de decisión (o los analistas) puedan conocer el estado futuro de los posibles *estados de la naturaleza* para sistemas globalizados, o en todo caso la probabilidad de ocurrencia de esos estados. Sin este conocimiento no es posible definir el conjunto probabilidades condicionales para las distintas alternativas a ser evaluadas así como tampoco sus respectivas utilidades o beneficios esperados.

**NOCIONES PREVIAS**

Bajo la notación donde  $a_i$ = i-esima alternativa y  $g_j$ = evaluación del criterio j, entonces  $g_j(a_i)$  representa la evaluación del criterio j sobre la i-esima alternativa. Los datos básicos de un problema multicriterio consisten en la evolución de la Tabla 7.

Tabla 7. Tabla de evaluación de problemas multicriterio

| a     | $g_1(\cdot)$ | $g_2(\cdot)$ | --- | $g_j(\cdot)$ | --- | $g_k(\cdot)$ |
|-------|--------------|--------------|-----|--------------|-----|--------------|
| $a_1$ | $g_1(a_1)$   | $g_2(a_1)$   | --- | $g_j(a_1)$   | --- | $g_k(a_1)$   |
| $a_2$ | $g_1(a_2)$   | $g_2(a_2)$   | --- | $g_j(a_2)$   | --- | $g_k(a_2)$   |
| ⋮     | ⋮            | ⋮            | ⋮   | ⋮            | ⋮   | ⋮            |
| $a_3$ | $g_1(a_i)$   | $g_2(a_i)$   | --- | $g_j(a_i)$   | --- | $g_k(a_i)$   |
| ⋮     | ⋮            | ⋮            | ⋮   | ⋮            | ⋮   | ⋮            |
| $a_n$ | $g_1(a_n)$   | $g_2(a_n)$   | --- | $g_j(a_n)$   | --- | $g_k(a_n)$   |

Fuente: Brans y Mareschal [117].

Recordando lo revisado en el capítulo II respecto a las relaciones de dominancia asociadas con un problema multicriterio de decisión podemos resumir lo siguiente:

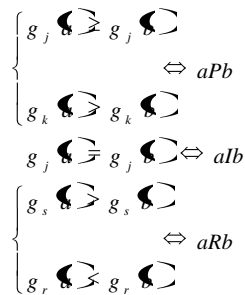


Figura 5. Relaciones de dominancia de un problema Multicriterio

donde  $P$ ,  $I$ , y  $R$  indican preferencia, indiferencia e incomparabilidad, respectivamente.

La incomparabilidad se explica de la siguiente manera; si una alternativa es mejor que otra en un criterio  $s$ , y ésta última es mejor que la primera en un criterio  $r$ , es imposible decidir cuál es mejor sin información adicional, ambas alternativas son por lo tanto incomparables. Como información adicional se puede tener:

- Pesos que asignan una importancia relativa de los criterios
- Agregar una función que reúna todos los criterios y sea de una sola variable, tal que sea posible obtener un problema mono-criterio, para el cual si existiría una solución óptima.

Muchos métodos multicriterio que han sido propuestos parten de la misma tabla de evaluación, pero las variaciones entre ellos dependen de la información adicional que ellos requieran.

El propósito de todos los métodos multicriterio es reducir el número de incomparabilidades ( $R$ ). Una manera de lograr esto es construyendo relaciones de rangos, ya sea de superioridad o de inferioridad. En tal caso no todas las incomparabilidades son eliminadas pero la información es fidedigna.

Para construir un adecuado método de resolución de problemas multicriterio algunos requisitos deben ser considerados a continuación se listan algunos de ellos [117]:

## REQUISITOS PARA LA RESOLUCIÓN DE UN PROBLEMA MCDA

### REQUISITO 1

La amplitud de las desviaciones entre la evaluación de las alternativas dentro de cada criterio debe ser tomada en cuenta:

$$d_j(a, b) \leq g_j(a) - g_j(b)$$

### REQUISITO 2

Como la evaluación  $g_j(a)$  de cada criterio está expresada en sus propias unidades, los efectos de escala deben ser completamente eliminados. No es aceptable obtener conclusiones dependiendo de la escala en la cual las evaluaciones están expresadas.

### REQUISITO 3

En el caso de comparaciones entre pares de alternativas, en método multicriterio apropiado debe proveer la siguiente información:

$a$  es preferente que  $b$

$a$  y  $b$  son indiferentes

$a$  y  $b$  son incomparables

Esto tiene como propósito reducir tanto como sea posible el número de incomparabilidades ( $R$ ), pero solo cuando esto sea realista.

#### REQUISITO 4

Diferentes métodos multicriterio necesitan diferente información adicional y operan bajo diferentes procesos de cálculo. Es por lo tanto importante desarrollar métodos que sean entendibles para el tomador de decisiones.

#### REQUISITO 5

Un procedimiento adecuado no debe incluir parámetros técnicos que no tengan significado para el tomador de decisiones.

#### REQUISITO 6

Un método apropiado debe proveer información sobre la naturaleza contradictoria de los criterios.

#### REQUISITO 7

A muchos de los métodos multicriterio les son asignados pesos de relativa importancia del criterio. Usualmente el tomador de decisiones titubea fuertemente al asignar los pesos. Un método apropiado debe ofrecer herramientas de sensibilidad para probar fácilmente conjuntos o series de pesos.

Los métodos PROMETHEE [31] y AHP toman en cuenta todos los requisitos antes mencionados.

### CARACTERIZACIÓN DE LA TÉCNICA AHP

El método AHP ha sido ampliamente utilizado en los últimos años reportándose varias aplicaciones en empresas del sector industrial y en regiones territoriales. Algunos de estos estudios revisados para la elaboración de la presente propuesta son los de Harker [118], Ávila Mogollón [119], Escobar y Moreno-Jiménez [120], Lage-Filho [121], Lage-Filho y Darling [122]), entre otros. En estas investigaciones se ha utilizado el método AHP como un instrumento de decisión multicriterio en el interés de trasladar la realidad percibida por el individuo a una escala de razón, en la que se reflejen las prioridades relativas de los elementos considerados.

El principio, básico a seguir para crear una estructura jerárquica, es poder contestar la siguiente pregunta:

*¿Se puede comparar los elementos de un nivel más bajo en términos de algunos o de todos los elementos del siguiente nivel jerárquico más alto (superior)?*

Este método ha posibilitado que en el proceso de toma de decisiones se estructure un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de una jerarquía de atributos, como se muestra en la

Figura 7, la cual contiene como mínimo tres niveles:

- El propósito o el objetivo global del problema, situado en la parte superior.
- Los distintos atributos o criterios que definen las alternativas en el medio.
- Las alternativas que concurren en la parte inferior del diagrama.

En caso de que los atributos o los criterios no sean lo suficientemente explícitos o claros, pueden incluirse subcriterios más operativos en forma secuencial entre el nivel de criterios y el de las alternativas, lo que origina un modelo jerárquico multinivel. Una vez construido el modelo jerárquico, se realizan comparaciones por pares entre dichos elementos (criterios, subcriterios y alternativas) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas que intervienen en el proceso de decisión.

La consistencia para trabajar una jerarquía, es partiendo de la meta hacia las alternativas y luego de las alternativas hacia la meta para hacer posibles las comparaciones. En la solución de los problemas por medio del método AHP se tienen diez pasos significativos:

1. Identificar la meta global ¿cuál es el objetivo que se desea alcanzar? ¿cuál es el problema principal?
2. Identificar las submetas asociadas a la meta global. Si es relevante deben identificarse los horizontes de tiempo que afectan a la decisión.
3. Identificar los criterios que deben satisfacerse para satisfacer las submetas asociadas a la meta global.
4. Identificar los subcriterios asociados a los criterios. Los criterios y subcriterios se pueden especificar en términos de rangos de valores de los parámetros o en términos cualitativos (alto, medio, bajo, etc).
5. Identificar los actores involucrados.
6. Identificar las metas de los actores.
7. Identificar las políticas de los actores.
8. Identificar opciones (alternativas) o resultados.
9. Tomar el resultado preferido y comparar la relación de beneficio/costo y de tomar la decisión contra aquella de no tomarla.
10. Llevar a cabo el análisis beneficio/costo utilizando valores marginales. Debido que el precio involucra jerarquías dominantes, es necesario preguntarse cuál alternativa proporciona el mayor beneficio. Si lo que se trata de analizar es el costo, es necesario preguntarse qué alternativa proporciona el mayor costo.

La toma de decisiones multiatributo MAUT trabaja con un número finito (que generalmente es pequeño) de alternativas determinadas,  $\mathbf{A} = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ , del cual se conoce además su evaluación



sobre cada uno de los atributos,  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , de carácter cuantitativo o cualitativo y que se representa a través de la denominada matriz de decisión mostrada en la Figura 6.

|       |          |          |     |          |     |          |
|-------|----------|----------|-----|----------|-----|----------|
|       | $X_1$    | $X_2$    | ... | $X_j$    | ... | $X_n$    |
| $A_1$ | $x_{11}$ | $x_{12}$ | ... | $x_{1j}$ | ... | $x_{1n}$ |
| $A_2$ | $x_{21}$ | $x_{22}$ | ... | $x_{2j}$ | ... | $x_{2n}$ |
| ...   | ...      | ...      | ... | ...      | ... | ...      |
| $A_i$ | $x_{i1}$ | $x_{i2}$ | ... | $x_{ij}$ | ... | $x_{in}$ |
| ...   | ...      | ...      | ... | ...      | ... | ...      |
| $A_m$ | $x_{m1}$ | $x_{m2}$ | ... | $x_{mj}$ | ... | $x_{mn}$ |

Figura 6. Matriz de decisión MCDM

A partir de la matriz de decisión representada en el Figura 6 es posible expresar que  $x_{ij}$  es el resultado alcanzado por la alternativa  $A_i$ ,  $j=1, \dots, n$ . Asimismo, a partir de los valores preferidos por el tomador de decisiones (sobre cada uno de los atributos), se puede formar la alternativa presuntamente ideal.

Una de las partes más relevantes del modelo AHP consiste en la estructuración de la jerarquía del problema de forma visual.

En esta etapa, los tomadores de decisiones implicados deben desglosar el problema y sus componentes principales en partes. Los pasos para obtener la estructuración del modelo jerárquico son (

Figura 7):

- a) Definición del objetivos
- b) Identificación de criterios
- c) Identificación de subcriterios
- d) Identificación de alternativas

La identificación del problema es el marco o situación que se desea resolver mediante la selección de una de las alternativas disponibles o de su ranking. La definición del objetivo es una declaración de algo que uno desea alcanzar [123].

El objetivo está en un nivel independiente del resto de los elementos (criterios, subcriterios y alternativas), que contribuyen a su consecución.

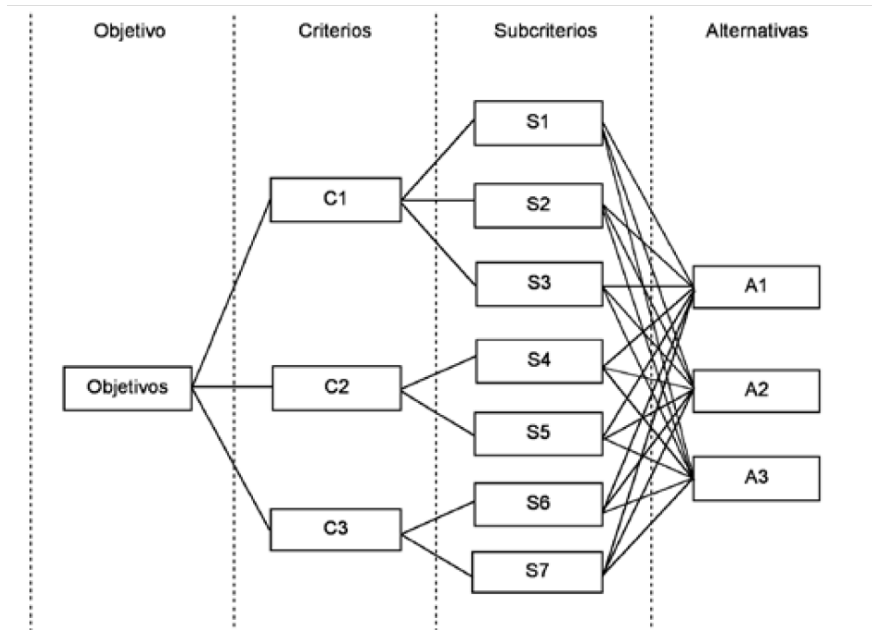


Figura 7. Estructura Jerárquica AHP

Fuente: Adaptado de Web-HIPRE

La identificación de criterios y subcriterios constituye los puntos de vista considerados importantes para la resolución de un problema o la consecución de un objetivo. Este proceso es la base para la toma de decisiones, que puede ser medida o evaluada y expresará las preferencias de los implicados. La identificación de alternativas corresponde a propuestas posibles o viables mediante las cuales se podrá alcanzar el objetivo general.

Con base en estos elementos es posible establecer las prioridades de acuerdo con el método AHP. El fundamento de la propuesta de Saaty [25] se basa en que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas (gracias a lo cual se puede medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende). Para la realización de las comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica, que va desde 1 hasta 9, su significado es mostrado en la Tabla 8.

El AHP trata directamente con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad sobre un atributo o criterio representado. Por ende, es posible suponer que este es el método natural que las personas siguieron al tomar decisiones mucho antes que se desarrollaran funciones de utilidad y, evidentemente, antes de que se desarrollara formalmente el AHP [124], [125].

La información que se demanda del tomador de decisiones es una matriz cuadrada que contiene comparaciones pareadas de alternativas o criterios, tal y como se expone en la Figura 6. En este caso,  $\mathbf{A}$  es una matriz  $n \times n$ , donde  $a_{ij}$  es la medida subjetiva de la importancia relativa del criterio  $i$  frente al  $j$ , según una escala normalizada de 1 (la misma importancia) a 9 (absolutamente más importante).

Tabla 8. Escala de Importancias para el Método AHP, Saaty [25]

| Valor de $a_{ij}$ | Definición  | Explicación   |
|-------------------|---|---|
| 1                 | Igual importancia   | Ambas actividades contribuyen igualmente al objetivo  |
| 3                 | Diferencia moderada en la importancia entre uno y otro criterio | Experiencia y opiniones favorecen moderadamente a un criterio sobre otro                          |
| 5                 | Importancia fuerte  | Experiencia y opiniones favorecen notablemente a un criterio sobre otro                           |
| 7                 | Importancia muy fuerte  | Uno de los criterios es el favorecido señaladamente y su dominio se ha demostrado en la práctica  |
| 9                 | Importancia absoluta  | La evidencia que favorece una actividad sobre la otra es del orden más alto posible de afirmación |
| 2,4,6,8           | Juicios intermedios entre las dos opciones adyacentes           |   |

La matriz de comparaciones pareadas contiene comparaciones alternativas o criterios. Si suponemos una matriz  $A$  de dimensión  $n \times n$ , con los juicios relativos sobre los atributos o criterios, y  $a_{ij}$  es el elemento  $(i, j)$  de  $A$ , para  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ . Entonces se puede decir que  $A$  es una matriz de comparaciones pareadas de  $n$  criterios, si  $a_{ij}$  es la medida de la preferencia del criterio de la fila  $i$  cuando se compara con el criterio de la columna  $j$ .

Cuando  $i=j$ , el valor de  $a_{ij}$  será igual a 1, pues se está comparando el criterio consigo mismo.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \text{ se cumple que:}$$

$$a_{ij} \cdot a_{ji} = 1: A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

En la matriz  $A$  todos los elementos son positivos y verifican las siguientes propiedades:

**RECIPROCIDAD:** si  $A$  es una matriz de comparaciones pareadas se cumple que:

$$a_{ij} = 1/a_{ji}, \quad \text{para todas } i, j = 1, 2, \dots, n$$

**CONSISTENCIA:**  $a_{ij} = a_{ik}/a_{jk}$  para todas  $i, j, k = 1, 2, \dots, n$

A cada celda de la matriz le corresponderá uno de los valores de la escala de Saaty [25]. Las comparaciones ubicadas al lado izquierdo de la diagonal formada por el valor 1 tienen una intensidad de preferencia inversa a las ubicadas al lado derecho de la diagonal. Por otro lado, las prioridades se ubican en la parte derecha de la matriz y son calculadas por el software para el

usuario, incorporando el elemento recíproco en la celda de la matriz que corresponda. Adicionalmente, el AHP muestra las inconsistencias resultantes de los juicios y el valor que las mejoraría. Si el grado de inconsistencia es inaceptable, se deben reconsiderar y revisar sus juicios emitidos sobre las comparaciones pareadas antes de continuar con el análisis.

Una vez que se obtiene la matriz de comparaciones pareadas, es posible hacer una síntesis de las prioridades deducidas de cada faceta del estudio, con el interés de obtener prioridades generales y una ordenación de las alternativas. Para tal fin, el AHP permite combinar todos los juicios o las opiniones, de modo que las alternativas quedan organizadas de la mejor a la peor.

Dada la matriz de comparaciones:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix},$$

sumamos verticalmente los elementos de cada columna. Así se obtienen los valores:

$$v_1, v_2, \dots, v_n = \sum_1^n a_i$$

Una vez obtenida la suma de cada columna, dividimos cada elemento de la matriz entre la suma obtenida, para conseguir:

$$A_{\text{normalizada}} = \begin{pmatrix} 1/v_1 & a_{12}/v_2 & \dots & a_{1n}/v_n \\ a_{21}/v_1 & 1/v_2 & \dots & a_{2n}/v_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1}/v_1 & a_{n2}/v_2 & \dots & 1/v_n \end{pmatrix}$$

A la cual denominaremos matriz de comparaciones normalizada.

El tercer paso consiste en obtener las prioridades de la matriz de comparaciones a partir de la matriz normalizada:

Para ello se calcula el vector columna:

$$p = \begin{pmatrix} \frac{1}{n} \sum_1^n a_{1j} \\ \frac{1}{n} \sum_1^n a_{2j} \\ \vdots \\ \frac{1}{n} \sum_1^n a_{nj} \end{pmatrix}$$

que contenga los promedios de las filas, y se obtiene el vector de prioridades de los criterios:

$$p = \begin{pmatrix} p_{c11} \\ p_{c12} \\ \vdots \\ p_{c1n} \end{pmatrix}$$

Se puede comprobar que la suma de los elementos del vector prioridades debe ser igual a 1.

Las prioridades de las alternativas se obtienen mediante la construcción de las matrices que contengan las prioridades de las alternativas respecto de los criterios-subcriterios

|               | Criterio 1 | Criterio 2 | .....    | Criterio 3 |
|---------------|------------|------------|----------|------------|
| Alternativa 1 | $p_{11}$   | $p_{12}$   | $\dots$  | $p_{1m}$   |
| Alternativa 2 | $p_{21}$   | $p_{22}$   | $\dots$  | $p_{2m}$   |
| ...           | $\vdots$   | $\vdots$   | $\vdots$ | $\vdots$   |
| Alternativa n | $p_{n1}$   | $p_{n2}$   | $\dots$  | $p_{nm}$   |

Las matrices obtenidas se multiplican con las matrices de los vectores de prioridades de los subcriterios respecto al criterio de jerarquía superior:

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_{c11} \\ p_{c12} \\ \vdots \\ p_{c1n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p'_{11} \\ p'_{12} \\ \vdots \\ p'_{1n} \end{pmatrix}$$

Posteriormente, el proceso se repite hasta terminar todas las comparaciones de los elementos del modelo (criterios, subcriterios y alternativas). Una de las ventajas del AHP es que no se exige transitividad cardinal en los juicios. Esto significa que permite cierta inconsistencia en el tomador de decisiones al emitirlos [126], [120].

No obstante, el propio AHP ofrece un método para medir el grado de consistencia entre las opiniones pareadas que da el tomador de decisiones. Si el grado de consistencia es aceptable, puede continuarse con el proceso de decisión; pero, de lo contrario, el que toma las decisiones posiblemente tendrá que modificar sus juicios antes de continuar con el estudio.

Por otro lado, la consistencia tiene dos propiedades simultáneas. La primera sobre la transitividad de las preferencias, que indica que los juicios emitidos deben respetar las condiciones de transitividad originados al comparar más de dos elementos. Es decir: si  $w_1$ , es mejor que  $w_2$ , y  $w_2$  es mejor  $w_3$ , entonces se espera que  $w_1$  sea mejor que  $w_3$ .

La otra propiedad se refiere a la proporcionalidad de las preferencias. Es decir, juicios enteramente consistentes implican, además de la propiedad de transitividad, la proporcionalidad entre ellos. Esto significa que si  $w_1$  es tres veces mejor que  $w_2$ , y  $w_2$  es dos veces mejor que  $w_3$ , entonces se espera que  $w_1$  sea seis veces mejor que  $w_3$ .

De acuerdo con lo indicado, podemos decir que una matriz (**A**) es consistente cuando las comparaciones a pares se basan en medidas exactas. Es decir, cuando los valores  $w_1 \dots w_n$ , son conocidos y se obtiene  $a_{ij} = w_i / w_j$ .

En la práctica los juicios humanos tienden a ser imperfectos, erráticos y voluntariosos; por lo cual es muy difícil disponer de medidas exactas para los  $w_i$ , sobre todo en procesos de decisiones donde, en general, existe una gran cantidad de variables cualitativas.

Para Saaty [25] la consistencia de los juicios son como la verificación del resultado  $a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk}$  para todo  $i, j, k$  de la matriz de comparaciones pareadas. Es decir, si los juicios del tomador de decisiones fueran exactos, se cumpliría la ecuación indicada, y la matriz de comparaciones (**A**) sería consistente.

Si se recogen las comparaciones pareadas entre alternativas en la matriz

$$(A) = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

decimos que el elemento  $a_{12}$  representa la importancia entre la alternativa 1 y la 2.

Al hacer una analogía de los valores, y suponiendo que la alternativa 1 esta valorizada como  $w_1$  y la 2 como  $w_2$ , se tendrá que:  $a_{12} = w_1 / w_2$ . Si en la matriz (**A**) cada elemento  $a_{ij}$  es reemplazado por la relación  $w_i / w_j$ , se tendrá la siguiente matriz:

$$(A) = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix}$$

Si se considera la línea  $i$  de la matriz de juicios:  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{in}$ , y en el caso ideal, se multiplicaran los elementos de la línea por  $w_1, w_2, \dots, w_n$ , se obtiene:

$$\begin{array}{l} \frac{w_i}{w_1} \cdot w_1 = w_i \quad \frac{w_i}{w_2} \cdot w_2 = w_i \quad \dots \\ \frac{w_i}{w_j} \cdot w_j = w_i \quad \dots \quad \frac{w_i}{w_n} \cdot w_n = w_i \end{array}$$

Si hacemos lo mismo con las decisiones o juicios reales, se obtendría un vector línea, cuyos elementos representarían una dispersión estadística del juicio dado sobre el valor  $w_i$ . Por lo tanto, se puede utilizar como estimativa de  $w_i$  el promedio de los valores, y queda como sigue:

Situación ideal:  $w_i = a_{ij}, w_j$  (para  $i, j=1, 2, \dots, n$ )

Situación de un caso real: 
$$w_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j$$

De este modo, si se tiene una matriz  $A$  que contiene los juicios ideales o totalmente precisos, y otra matriz  $A'$  que recoja además los desvíos o errores producidos ante un caso real, sucede que para determinar si el nivel de consistencia es o no admisible, partimos de que si una matriz es consistente, implica que existe un vector columna ( $w$ ) de valores  $w_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ), donde:  $w_i/w_j = a_{ij}$  y que  $(A) \cdot (w) = n \cdot (w)$

Según la teoría de matrices, dado que  $\sum \lambda_i = \sum a_{ii} = n$ , y al considerar pérdida de consistencia de la matriz  $A$ , se genera una matriz  $A'$ , y se cumple para este caso que:

$$\lambda_{\max} = n = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

si

$$\lambda_i = \lambda_{\max} \Rightarrow \sum \lambda_i + \lambda_j \Leftrightarrow \sum_{i \neq j} \lambda_i$$

$$\sum_{i \neq j} \lambda_i \neq 0$$

Si no hay consistencia:

Además, cuanto más parecido sea  $\lambda_{\max}$  al número de alternativas que se están analizando ( $n$ ), más consistente será el juicio de valor elaborado.

El desvío de la consistencia viene representado por el índice de consistencia (CI).

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Este mide la dispersión de los juicios del tomador de decisiones en la matriz **A**.

El AHP calcula la razón de consistencia como CI de (**A**) y el CI aleatorio o (IA), teniendo que la relación de consistencia (RC):

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

El IA tabla es el índice de consistencia aleatoria de la matriz **A**; en tanto que el índice de consistencia de una matriz de comparaciones pareadas es cuando las comparaciones por pares se generan al azar.

Incluso es posible generar aleatoriamente matrices del tipo **A** estrictamente recíprocas y de diferentes tamaños. Este se denomina índice de consistencia aleatoria (ICA) o índice randómico (IR).

Tabla 9. Índice de Consistencia Aleatoria (ICA)

|                                       |   |   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Número de elementos que se comparan   | 1 | 2 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| Índice de consistencia aleatorio (IA) | 0 | 0 | 0,58 | 0,89 | 1,11 | 1,24 | 1,32 | 1,40 | 1,45 | 1,49 |

Se considera que la consistencia del tomador de decisiones es aceptable cuando la RC es <10%. Este valor está sujeto a la dimensión de la matriz de comparaciones; es decir, del mismo número de elementos que se comparan para completar la matriz. Este número viene dado por:

$$\frac{n \cdot (n - 1)}{2} = \text{número de comparaciones: } n \text{ es la dimensión de la matriz.}$$

En resumen el AHP en tres pasos se describe:

- Construcción de la matriz de comparación
- Desarrollo del vector  $w$  y de la relación de inconsistencia
- Si  $IR < 10\%$ , la inconsistencia es aceptable. Si no lo es se regresa al paso a) y se recalculan los valores de la matriz.



### VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA AHP

Algunas de las ventajas del AHP frente a otros métodos de Decisión Multicriterio son [127]:

- Presentar un sustento matemático;
- Permitir desglosar y analizar un problema por partes;
- Permitir medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común;
- Incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso;
- Permitir verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es del caso;
- Generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad; y
- Ser de fácil uso y permitir que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

Algunos autores han desarrollado técnicas híbridas para aprovechar los puntos fuertes de la técnica de Jerarquización Analítica [128] uno de estas modificaciones sugiere reforzar la técnica de PROMETHEE con características útiles de AHP, como son la estructura jerárquica del problema y la determinación de los pesos.

Una de las desventajas más notables de AHP se relaciona con el uso de la escala de 9 puntos de Saaty. Si una alternativa **A** es 5 veces más importante que la alternativa **B** y esta a su vez es 5 veces más importante que la alternativa **C**, se produce un problema serio, ya que AHP no puede manejar el hecho de que la alternativa **A** es 25 veces más importante que la alternativa **C**. Macharis [128] cita a Saaty [124] para afirmar que “el cerebro humano no tiene la capacidad para comparar estímulos que difieren mucho en tamaño, en tales casos se forman grupos constituidos por elementos que son comparables al usarse una escala de 9 puntos. En la práctica esto implica que se pueden introducir subclases creadas artificialmente”.

### CARACTERIZACIÓN DE LA TÉCNICA PROMETHEE

La técnica PROMETHEE [129], se basa en la construcción de relaciones de superación, incorporando conceptos y parámetros que poseen alguna interpretación física o económica fácilmente comprensibles por el decisor. PROMETHEE hace uso abundante del concepto de pseudocriterio ya que construye el grado de superación entre cada par de alternativas ordenadas **a** y **b**,  $\pi(a, b)$ , tomando en cuenta la diferencia de puntuación que esas alternativas poseen respecto a cada atributo. La valuación de esas diferencias puede realizarse mediante 6 funciones de valor posibles y que son utilizadas de acuerdo a las preferencias del decisor, quien además debe proporcionar los umbrales de indiferencia y de preferencia asociados a estos pseudocriterios.

En PROMETHEE I se obtiene un ranking parcial, en tanto que en PROMETHEE II puede obtenerse un ranking total considerando los flujos netos (entrantes — salientes) de cada alternativa. Otras variantes del método plantean situaciones más sofisticadas de decisión, en particular problemas

con un componente estocástico. Así se han desarrollado las versiones PROMETHEE III (ranking basado en intervalos), PROMETHEE IV (caso continuo), PROMETHEE V (caso con restricciones) y PROMETHEE VI (que busca acercar el proceso hacia el enfoque cognitivo) [31].

Como se mencionó en el apartado sobre requisitos para la resolución de un problema multicriterio, cada metodología tiene un requerimiento particular de información, respecto a esto la información adicional que se requiere para emplear PROMETHEE es particularmente clara y entendible, ésta consiste en:

- Información entre los criterios
- Información dentro de cada criterio

### INFORMACIÓN ENTRE LOS CRITERIOS.

La Tabla 10 representa la asignación de importancia relativa de a los criterios de evaluación de las alternativas, donde  $w_j$  representa los pesos de relativa importancia de los diferentes criterios  $g_j(\cdot)$ . Estos pesos deben ser números positivos, e independientes de las unidades de medición de los criterios.

Tabla 10. Pesos de relativa importancia PROMETHEE

|              |              |     |              |     |              |
|--------------|--------------|-----|--------------|-----|--------------|
| $g_1(\cdot)$ | $g_2(\cdot)$ | ... | $g_j(\cdot)$ | ... | $g_k(\cdot)$ |
| $w_1$        | $w_2$        | ... | $w_j$        | ... | $w_k$        |

Fuente: Brans y Mareschal [117]

El peso más elevado, representa el criterio con más importancia. Estos pesos deben estar normalizados, es decir que:

$$\sum_{j=1}^k w_j = 1$$

### INFORMACIÓN DENTRO DE CADA CRITERIO.

La estructura de preferencias de PROMETHEE está basada en comparaciones de pares de alternativas evaluadas en los criterios. Se considera la desviación entre las evaluaciones de dos alternativas. Para desviaciones pequeñas, el tomador de decisiones asignará una preferencia pequeña para la mejor alternativa, e incluso puede considerar que no hay preferencia alguna si él considera que la desviación es insignificante.

PROMETHEE considera que las preferencias son números reales que varían entre 0 y 1. Esto significa que para cada criterio el tomador de decisiones tiene en mente una función del tipo:

$$P_j(a, b) = F_j(g_j(a) - g_j(b))$$

Donde

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b)$$

y, para la cual:

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1$$

En el caso de que el criterio deba ser maximizado, ésta función daría la preferencia de **a** sobre **b**, debido a las desviaciones observadas entre sus evaluaciones sobre el criterio  $g_j(\cdot)$ . Ésta función debe tener la forma que indica la Fig. 2.

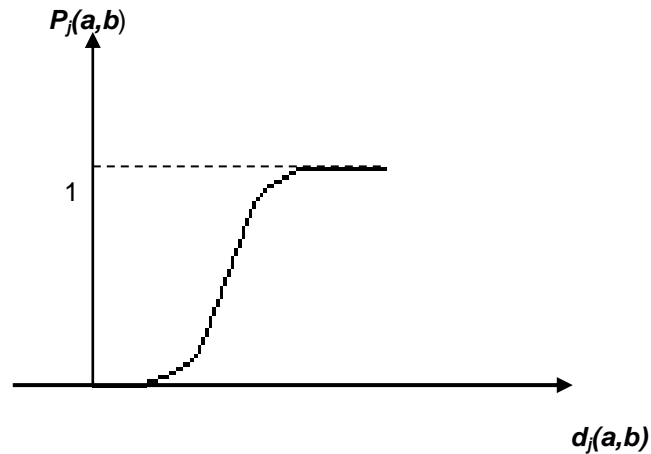


Figura 8. Función de Preferencia en PROMETHEE, [117]

Las preferencias son iguales a cero cuando las desviaciones son negativas. Cuando los criterios deben ser minimizados, la función de preferencia debe invertirse:

$$P_j(a, b) = F_j(d_j(a, b))$$

El par  $g_j, P_j(a, b)$  es llamado *criterio generalizado* asociado al criterio  $g_j(\cdot)$ , para cada criterio debe ser definido el criterio generalizado.

Independiente de las aplicaciones particulares del método PROMETHEE, todas tienen por objetivo comparar alternativas escogiendo funciones  $P(\cdot)$  para ello, es decir, utilizando como argumento la diferencia entre los valores de  $f(a)$  y  $f(b)$ . Estas funciones son conocidas como cuasi-criterios y pseudocriterios, ya que en su definición analítica las primeras consideran un intervalo de indiferencia (en vez de un punto) y las segundas toman en cuenta un intervalo de “duda” entre la

indiferencia y la preferencia. Las funciones más utilizadas en la literatura se describen a continuación.

**NOMENCLATURA**

**q** es el límite de la indiferencia; es decir, es la desviación más grande que se considera insignificante por el tomador de decisiones.

**p** es el límite estricto de la preferencia; es decir, es la desviación más pequeña que sea considerada como suficiente para generar una preferencia amplia.

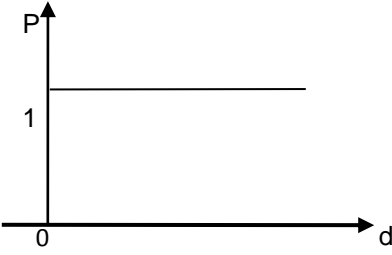
**s** es un valor intermedio entre **p** y **q**, éste define el punto de inflexión de la función de preferencia.

Se recomienda determinar primero **q** y **p**, para después obtener **s** como un valor intermedio entre estos parámetros.

**TIPO I: CRITERIO USUAL**

En este caso la indiferencia entre **a** y **b** sólo se produce cuando  $(a)=(b)$ . Mientras haya la más mínima diferencia entre ambos valores, el tomador de decisiones tendrá una preferencia estricta por alguna de las alternativas. En esta función no se define ningún parámetro extra y sólo permite al tomador de decisiones usar el criterio de forma usual cuando éste lo requiera.

Tabla 11. Criterio Usual

| Forma de función  | Definición  | Parámetros necesarios |
|---|---|-----------------------|
|  | $P = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$ | <p>--</p>             |

TIPO II: CUASI – CRITERIO

Para este caso, y para el criterio ( $\cdot$ ) en particular,  $a$  y  $b$  son indiferentes mientras la diferencia entre ( $a$ ) y ( $b$ ) no exceda  $q$ ; si esto no se cumple la preferencia es estricta. También es conocido como la función *U-Shape Criterion*.

Tabla 12. Función *U-Shape*

| Forma de función | Definición   | Parámetros necesarios |
|------------------|--|-----------------------|
|                  | $P \left( \cdot \right) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$ | $q$                   |

TIPO III: CRITERIO CON PREFERENCIA LINEAL

Esta extensión de la noción de criterio permite al tomador de decisiones preferir progresivamente  $a$  sobre  $b$  mientras mayor sea la diferencia entre ( $a$ ) y ( $b$ ). La intensidad de la preferencia aumenta linealmente hasta que la diferencia es igual a  $p$ , siendo estricta para valores mayores. También es conocido como la función *V-Shape Criterion*.

Tabla 13. Función *V-Shape*

| Forma de función | Definición  | Parámetros necesarios |
|------------------|---|-----------------------|
|                  | $P \left( \cdot \right) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$ | $p$                   |

**TIPO IV: CRITERIO POR NIVELES**

En este caso  $a$  y  $b$  son considerados indiferentes cuando la diferencia entre ( $a$ ) y ( $b$ ) es menor que  $q$ ; entre  $q$  y  $p+q$  la preferencia es débil ( $1/2$ ) y para valores mayores la preferencia es estricta. Este tipo de criterio es similar a los utilizados en el método ELECTRE, sin embargo en este caso los parámetros tienen significado bien definido y pueden ser escogidos por el tomador de decisiones de forma clara de acuerdo a sus conocimientos.

Tabla 14. Función por Niveles

| Forma de función | Definición  | Parámetros necesarios |
|------------------|---|-----------------------|
|                  | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$ | $p, q$                |

**TIPO V: CRITERIO LINEAL CON ÁREAS DE PREFERENCIA E INDIFERENCIA.**

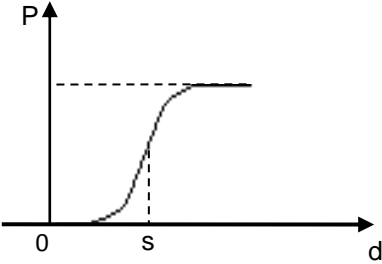
En este caso el tomador de decisiones considera que  $a$  y  $b$  son completamente indiferentes si la diferencia entre ( $a$ ) y ( $b$ ) no exceda el valor  $q$ . Para valores mayores de esta diferencia la preferencia crece linealmente hasta que alcanza el valor  $p$ .

Tabla 15. Criterio V-Shape con áreas de Indiferencia

| Forma de función | Definición   | Parámetros necesarios |
|------------------|--|-----------------------|
|                  | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d - q}{p - q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$ | $p, q$                |

**TIPO VI: CRITERIO GAUSSIANO**

Si un cierto criterio es definido como de tipo gaussiano se tiene un incremento en la preferencia al aumentar la diferencia entre (*a*) y (*b*), tal como en los otros criterios. Sin embargo, en este caso el incremento se produce de acuerdo a una distribución normal estadística. Por lo tanto, si la preferencia se define a partir de datos históricos, es fácil para el tomador de decisiones incorporar dicho conocimiento a través del uso del parámetro *s*.

| Forma de función  | Definición  | Parámetros necesarios |
|---|---|-----------------------|
|  | $P(a, b) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$ | <p><i>s</i></p>       |

Tan pronto como la tabla de evaluación (Tabla 17Tabla 10) sea construida, y los pesos *w<sub>j</sub>* y los criterios generalizados *g<sub>j</sub>*, *P<sub>j</sub>(a, b)* estén definidos para *i=1,2,...,n*; *j=1,2,...,k*, el procedimiento PROMETHEE puede ser aplicado.

**CLASIFICACIÓN I Y II DE PROMETHEE**

Para explicar la clasificación I y II de PROMETHEE es necesario definir dos conceptos, índices de preferencia agregados y flujos de categoría superior.

**ÍNDICES DE PREFERENCIA AGREGADOS**

$$\begin{cases} \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b) w_j \\ \pi(b, a) = \sum_{j=1}^k P_j(b, a) w_j \end{cases}$$

$\pi(a,b)$  expresa con qué grado **a** es preferente que **b** sobre todos los criterios y  $\pi(b,a)$  expresa como **b** es preferente que **a**. En muchos de los casos hay criterios en los cuales **a** es mejor que **b**, y también hay criterios para los cuales **b** es mejor que **a**, por consiguiente  $\pi(a,b)$  y  $\pi(b,a)$  son usualmente positivos.

Cuando  $\pi(a,b)$  es prácticamente igual a 0 implica una frágil preferencia global de **a** sobre **b**, y cuando  $\pi(a,b)$  es prácticamente igual a 1 implica una fuerte preferencia global de **a** sobre **b**.

Una vez que  $\pi(a,b)$  y  $\pi(b,a)$  son calculados para cada par de alternativas de **A** (conjunto de alternativas) puede construirse una gráfica donde se representan los índices de preferencias agregadas de cada criterio.

### FLUJOS DE CATEGORÍA SUPERIOR

Gracias al índice de preferencia es posible resumir la información sobre estas últimas Sin embargo, esto no es suficiente para la resolución de un problema de elección donde se requiere elegir una buena opción dentro de un ranking (en general en los problemas multicriterio no se habla de “óptimo”).

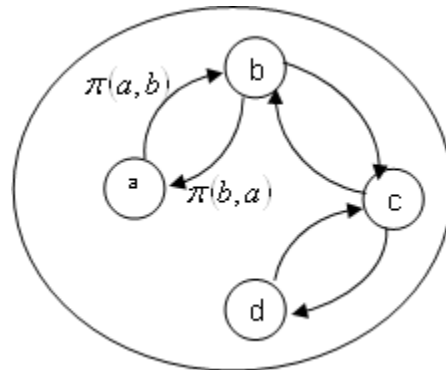


Figura 9. Índices de Preferencia Agregados [117]

Para lograr esto existen diferentes enfoques que permiten construir un orden entre las alternativas, de los cuales se expondrán los dos más importantes.

Cada alternativa **a** es comparada contra (n-1) otras alternativas del conjunto de alternativas **A**, de donde se definen los dos siguientes flujos de categoría:

### FLUJO DE CATEGORÍA POSITIVO

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x)$$



FLUJO DE CATEGORÍA NEGATIVO

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a^-)$$

donde  $x$  son todas las alternativas diferentes de  $a$ .

$\phi^+(a)$  expresa como una alternativa  $a$  es de categoría superior que todas las demás alternativas. Éste es su poder, su carácter dominante.

$\phi^-(a)$  expresa como una alternativa es de categoría inferior que todas las demás alternativas. Ésta es su debilidad, su carácter de inferioridad.

LA CLASIFICACIÓN PARCIAL. PROMETHEE I

La clasificación parcial PROMETHEE I ( $P^I, I^I, R^I$ ) es obtenida de los flujos de categorías superior e inferior. Ambos flujos usualmente no inducen hacia la misma clasificación, PROMETHEE I obtiene sus conclusiones en base a las siguientes relaciones:

$$\left\{ \begin{array}{l} aP^I b \quad \text{si} \quad \left\{ \begin{array}{l} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ and } \phi^-(a) > \phi^-(b) \text{ ó} \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ and } \phi^-(a) > \phi^-(b) \text{ ó} \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ and } \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{array} \right. \\ \\ aI^I b \quad \text{si} \quad \left\{ \begin{array}{l} \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ and } \phi^-(a) = \phi^-(b) \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ and } \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{array} \right. \\ \\ aR^I b \quad \text{si} \quad \left\{ \begin{array}{l} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ and } \phi^-(a) > \phi^-(b) \text{ ó} \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ and } \phi^-(a) < \phi^-(b) \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Figura 10. Relaciones de PROMETHEE I [117]

donde ( $P^I, I^I, R^I$ ) representan, respectivamente, preferencia, indiferencia e incomparabilidad en la clasificación PROMETHEE I.

- Cuando  $aP^I b$ , un alto poder o dominancia de  $a$  es asociado a una baja debilidad de  $a$  con respecto a  $b$ . La información de ambos flujos de categoría es consistente y puede por lo tanto ser considerada segura.
- Cuando  $aI^I b$ , ambos flujos, positivo y negativo, son iguales.
- Cuando  $aR^I b$  la alternativa  $a$  es bueno en algunos criterios donde  $b$  es débil, y de manera inversa  $b$  es bueno en algunos otros criterios donde  $a$  es débil. En tales casos la información que ambos flujos proveen no es consistente. PROMETHEE I es prudente y no decide cual alternativa es mejor en tales casos, el tomador de decisiones debe cargar con esta responsabilidad.

LA CLASIFICACIÓN COMPLETA DE PROMETHEE II

PROMETHEE II se encarga de hacer una clasificación completa ( $P^{II}$ ,  $I^{II}$ ). El flujo neto de dominancia puede ser considerado como:

$$\phi^+_{k, x} - \phi^-_{k, a}$$

Éste es el balance entre los flujos de dominancia positivo y negativo

$$\begin{cases} aP^{II} b & \text{si } \phi^+_{k, x} > \phi^-_{k, a} \\ aI^{II} b & \text{si } \phi^+_{k, x} < \phi^-_{k, a} \end{cases}$$

Cuando PROMETHEE II es considerado, todas las alternativas son comparables, pero la información obtenida puede ser más discutible, debido a que mucha información se pierde por considerar la diferencia de Los flujos de categoría.

EL MÉTODO GAIA

El objetivo del método PROMETHEE es realizar comparaciones entre alternativas con el fin de construir un ranking, lo que se puede llevar a cabo de diversas formas. Sin embargo, el ranking obtenido es preceptivo, es decir, es un orden que el tomador de decisiones debe respetar necesariamente para realizar la elección de una alternativa, incluso sin tener una idea acabada de la estructura del problema de decisión. Es por esto que el método GAIA (*Graphical Analysis for Interactive Assistance*) tiene por objetivo realizar una representación gráfica del problema de decisión y un análisis de sensibilidad sobre las mejores alternativas respecto de los parámetros del modelo (pesos asociados a cada criterio).

El método GAIA toma como punto de partida la definición de flujo neto usada en PROMETHEE II. Para comprender el método GAIA en forma teórica es necesario reescribir dicha definición en función de flujos netos para cada criterio. En efecto, los flujos para cada criterio se definen de la siguiente manera:

$$\phi^+_{k, x} = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi_{k, x} - \pi_{k, a}$$

Luego el flujo neto queda definido como:

$$\Phi(a_i) = \sum_{h=1}^k w_h \cdot \phi_h(a_i)$$

(Se debe notar que la definición es equivalente a la anteriormente dada para el mismo flujo, y que sólo se reescribió para la explicación del método GAIA).

En base a los flujos para cada criterio es posible definir la siguiente matriz:

$$\Phi = \begin{matrix} \Phi_1(a_1) & \dots & \Phi_k(a_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Phi_1(a_n) & \dots & \Phi_k(a_n) \end{matrix}$$

Cada fila de la matriz  $\Phi$  está asociada a una alternativa, mientras que cada una de las columnas está asociada a un criterio. Ésta puede ser interpretada como una serie de  $n$  puntos en un espacio  $k$  dimensional (constituido por los flujos de cada criterio), sin embargo, carece de utilidad práctica ya que es imposible representarla en 2 dimensiones. Con el objetivo de reducir las dimensiones y obtener una perspectiva en 2D del problema se aplica la técnica de Análisis de Componentes Principales (PCA, por su sigla en inglés) sobre la serie de puntos.

La técnica PCA tiene como primer paso el cálculo de los valores y vectores propios de la matriz  $\Phi$ , en particular, los vectores propios asociados a los dos mayores valores propios. Estos vectores propios cumplen la propiedad de ser ortogonales entre sí, por lo que definen el plano óptimo para la representación del problema (plano GAIA), es decir, el que proyecta el problema minimizando la pérdida de información debido a la reducción dimensional.

Sean  $\lambda_1, \dots$ , los valores propios de la matriz  $\Phi$  ordenados de mayor a menor. Luego, se define la siguiente matriz donde cada columna está constituida por los vectores propios asociados a cada valor propio del conjunto (en el mismo orden):

$$V = \begin{matrix} V_{11} & \dots & V_{k1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{1k} & \dots & V_{kk} \end{matrix}$$

Las coordenadas de cada una de las alternativas y los vectores que definen los criterios en el plano GAIA son obtenidas luego de calcular la matriz  $\theta$ :

$$\theta = \Phi * V = \begin{matrix} \Phi_1 a_1 & \dots & \Phi_k a_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Phi_1 a_n & \dots & \Phi_k a_n \end{matrix} * \begin{matrix} V_{11} & \dots & V_{k1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{1k} & \dots & V_{kk} \end{matrix} = \begin{matrix} a_{11} & \dots & a_{k1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{nk} & \dots & a_{nk} \end{matrix}$$

Luego, para la representación bidimensional se deben usar sólo las dos primeras componentes de cada columna de la matriz, mientras que para obtener las coordenadas correspondientes a los vectores de los criterios se debe hacer producto punto entre el vector unitario asociado a cada dimensión del espacio  $k$  – dimensional, y los dos vectores propios asociados a los dos valores propios más grandes.

Finalmente, la preferencia que tiene el tomador de decisiones respecto del total de criterios considerados puede ser representada por medio de la proyección de los pesos asociados a cada uno de éstos ( $w_1, \dots$ ), en el plano GAIA. Esta proyección da origen a un vector llamado “puntero de decisión”, el que indica la dirección, en el plano GAIA, en que se encuentran los puntos que el tomador de decisiones desea escoger. El puntero de decisión puede ser interpretado como la suma ponderada de los objetivos considerados, esto es:

$$\Psi = \sum_{h=1}^k c_h \cdot w_h$$

donde  $c_h$  corresponde a la proyección del criterio  $h$  en el plano GAIA y  $w_h$  corresponde al peso normalizado respecto del conjunto, es decir:

$$w_h = \frac{W_h}{\sum_{j=1}^k W_j}$$

Como resultado de todo el proceso descrito, se logra una representación gráfica como la presentada en la Figura 11:

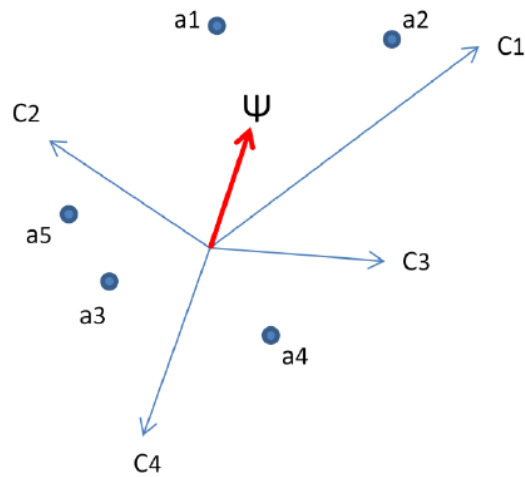


Figura 11. Representación del Plano GAIA

En la Figura 11 los puntos  $a_1, \dots, a_5$  representan las alternativas, y los vectores  $c_1, \dots, c_4$  representan los criterios, mientras que el vector de color rojo corresponde al puntero de decisión. En este caso las dos opciones que más coinciden con las preferencias son  $a_1$  y  $a_2$ , mientras que el resto de las alternativas se encuentran en direcciones distintas al puntero de decisión.

En definitiva, el logro conseguido al usar el método GAIA es hacer una representación geométrica de los criterios (los cuales apuntan en diferentes direcciones), y de las alternativas como puntos, lo que permite realizar comparaciones entre criterio y alternativa, entre criterios y alternativas entre sí, dando al tomador de decisiones una noción clara de cuál es la mejor alternativa y la similitud de ésta con el resto.

La principal limitación que posee este método se relaciona con la pérdida de información producto de la reducción dimensional. Intuitivamente, se define el siguiente índice para estimar el porcentaje de información conservada luego de realizar la proyección:

$$\delta = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\sum_{j=1}^k \lambda_j}$$

Sin embargo, mientras la pérdida no sea mayor al 30%, ésta no dificulta la aplicación del método. Como precaución a la eventual pérdida de información que se produzca en problemas particulares, alternativamente se calcula el ranking de PROMETHEE II

---

#### SOFTWARE DECISION LAB

Decision Lab es la aplicación de software para PROMETHEE y GAIA. Es desarrollado por la empresa canadiense Visual Decision, en cooperación con los autores. Es una aplicación para Windows que usa un interface tipo hoja de cálculo para un manejo amigable de datos.

Todos los datos relacionados con los métodos PROMETHEE (evaluaciones, preferencias, funciones, pesos) pueden ser fácilmente definidos y alimentados por el usuario. Cuenta además con prestaciones adicionales como son la definición de criterios cualitativos o la definición de variables en la función de preferencia. También pueden definirse categorías para las alternativas y los criterios para identificar mejor los subgrupos con elementos relacionados y facilitar el análisis.

En el software de PROMETHEE, PROMCALC y DECISION LAB, el usuario tiene permitido introducir arbitrariamente los números para los pesos sin estar normalizados, haciendo más fácil expresar la importancia relativa de los criterios. En éstos software los números son divididos por su suma, es decir los pesos son normalizados automáticamente [129].

Evaluar los pesos de los criterios no es sencillo. Esto envuelve prioridades y percepciones del tomador de decisiones. La selección de los pesos representa el espacio de libertad que el tomador de decisiones tiene. PROMCALC y DECISION LAB incluyen varias herramientas de sensibilidad para experimentar con diferentes grupos de pesos con la finalidad de ayudar a fijarlos [31].

El manejo de la información se realiza en tiempo real y cualquier modificación se refleja de manera inmediata. La jerarquización, la matriz de información y el plano GAIA se muestran en pantallas separadas para poder visualizar las interacciones y facilitar los cálculos. La herramienta de pesos puede ser empleada interactivamente para modificar los valores de los pesos y ver de manera inmediata cómo cambian las posiciones en la jerarquización. Esto es particularmente útil cuando el decisor no tiene una idea clara de los pesos apropiados y necesita explorar cuál es su espacio de libertad.

Al final del análisis, DECISION LAB permite generar reportes que pueden incluir toda la información, tablas y gráficos que sean necesarios para el decisor.

---

#### VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE PROMETHEE

Una de las desventajas más notable de PROMETHEE es que no provee la posibilidad de armar una estructura del problema. En caso de muchos criterios, esto puede llegar a ser una dificultad para que el decisor tenga una visión clara del problema y pueda evaluar los resultados.

Además, PROMETHEE no provee guías específicas para la determinación de los pesos de los criterios, pero asume que el decisor tiene la capacidad de realizar este proceso apropiadamente, al menos cuando el número de criterios no es muy grande [128].

Otros autores, como Haralambopoulos [130] afirman que PROMETHEE tiene todas las ventajas de los métodos de sobreclasificación, combinadas con una mayor facilidad en su uso y una menor complejidad.

El proceso GAIA consiste en un módulo de interacción visual complementario de la Metodología PROMETHEE. El plano GAIA ofrece al decisor una descripción gráfica clara de su problema de decisión, enfatizando los conflictos existentes entre los criterios y el impacto de los pesos en la decisión final.

## OTROS ENFOQUES METODOLÓGICOS

### ENFOQUE GOODWIN & WRIGHT

Este enfoque es una extensión de un análisis MAUT tradicional, teniendo en consideración escenarios futuros. Puede ser descrito como un conjunto de pasos:

- Definir un conjunto de alternativas estratégicas  $n (a_i)$ ;
- Definir un conjunto de escenarios de futuro  $m (S_j)$ ;
- Cada alternativa de decisión es una combinación de una alternativa estratégica en un escenario determinado  $(a_i-S_j)$ ;
- Definir una estructura de valores, que representa los objetivos fundamentales de la organización;
- Medir el rendimiento de cada alternativa de decisión  $(a_i-S_j)$  en cada objetivo del árbol de valores utilizando una escala de valores de 100-0;
- Obtener las ponderaciones de cada objetivo en la estructura de valores usando pesos móviles (ubicados entre en las peores y mejores alternativas de decisión);
- Agregar el rendimiento de cada alternativa de decisión  $(a_i-S_j)$  con la ponderación adjunta a los objetivos in el árbol de valores, buscando una puntuación global para la alternativa de decisión.

Goodwin y Wright [114] presentan un caso hipotético que puede ilustrar el método; se asume que una empresa nacional de correos está considerando en su futuro dos escenarios: Dog Fight ( $S_1$ ), donde la empresa pierde su monopolio y por otra parte presenta un escenario alternativo Mail Mountain ( $S_2$ ), en cual se conserva su participación. Tres estrategias están disponibles: Mantener el *Statu Quo* ( $a_1$ ), Invertir en I + D ( $a_2$ ) y la tercera estrategia contempla la diversificación ( $a_3$ ). Cinco objetivos fueron considerados en la estructura del árbol de valores como se muestra en la Figura 12: la rentabilidad a corto plazo y largo plazo, la participación del mercado, el crecimiento y la flexibilidad.

Se clasifican todas las combinaciones Escenario/Estrategia para cada objetivo organizacional, asignado una clasificación en una escala de 1 a 6; donde 1 es la mejor y 6 es el peor rendimiento para alcanzar dicho objetivo organizacional; en la Tabla 16(a) se ejemplifica este procedimiento para dos de los objetivos considerados: Rendimiento a Largo Plazo y Participación del Mercado.

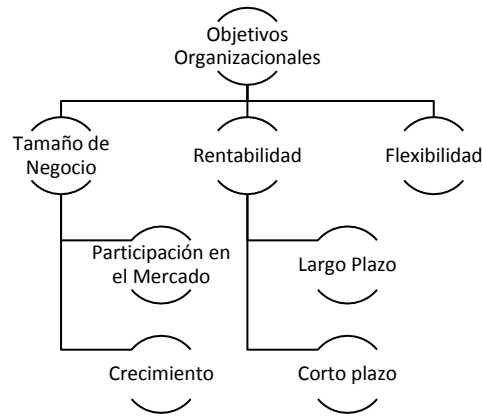


Figura 12. Estructura de Objetivos para el Árbol de Valores

Tabla 16. Clasificación y Puntuación de las combinaciones Escenario/Estrategia para dos objetivos organizacionales

| Estrategia   | Clasificación (a)   |                         | Puntuación (b)      |                         |
|--|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
|  | Escenario           |                         |                     |                         |
|  | Dog Fight ( $S_1$ ) | Mail Mountain ( $S_2$ ) | Dog Fight ( $S_1$ ) | Mail Mountain ( $S_2$ ) |
| Objetivo: Maximizar la rentabilidad a largo plazo  |                     |                         |                     |                         |
| Status Quo ( $a_1$ )                               | 6                   | 2                       | 0                   | 80                      |
| I+D ( $a_2$ )                                      | 5                   | 1                       | 30                  | 100                     |
| Diversificarse ( $a_3$ )                           | 4                   | 3                       | 50                  | 60                      |
| Objetivo: Maximizar la participación en el mercado |                     |                         |                     |                         |
| Status Quo ( $a_1$ )                               | 5                   | 1                       | 0                   | 100                     |
| I+D ( $a_2$ )                                      | 4                   | 1                       | 80                  | 100                     |
| Diversificarse ( $a_3$ )                           | 5                   | 1                       | 0                   | 100                     |

Este mismo procedimiento se realiza para cada uno de los demás objetivos, el siguiente paso es asignar una calificación de la preferencia que los tomadores de decisión tienen por la ocurrencia de cada una de las estrategias planteadas ( $S_1$  y  $S_2$ ), donde 0 es la menos preferida y 100 es absolutamente preferida, los valores intermedios entre estos representan el grado de predilección, lo anterior se muestra en la Tabla 16(b).

La calificación entre el peor y el mejor rendimiento para alcanzar los objetivos es asignado para cada objetivo, a fin de identificar las mejoras obtenidas por la elección de una u otra alternativa, esto se representa en la Tabla 17, esta calificación o ranking está determinada por un ponderación basado en la importancia de alcanzar cada objetivo, durante este procedimiento se normalizan los pesos para obtener una escala consecuente cuya suma sea igual a 1.

Con esta base, es posible entonces asignar una ponderación por preferencia para evaluar cada una de las alternativas ( $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$ ) para cada escenario, ejemplo de este proceso se muestra en la Tabla 18 para la estrategia *Status Quo* ( $a_1$ ) en el escenario *Mail Mountain* ( $S_2$ ), este es el proceso

que permitirá finalmente la evaluación comparativa entre los rendimientos de las soluciones propuestas en el proceso decisorio, lo anterior se presenta en la Tabla 19.

Tabla 17. Asignación de Pesos y Clasificación para las relaciones de rendimiento para alcanzar los objetivos

| Relación entre:                      | Peso | Peso Normalizado | Clasificación |
|--------------------------------------|------|------------------|---------------|
| Peor/mejor Rendimiento a largo plazo | 100  | 0,5              | 1             |
| Peor/mejor Participación de Mercado  | 40   | 0,2              | 2             |
| Menor/mayor Flexibilidad             | 30   | 0,15             | 3             |
| Menor/mayor Crecimiento              | 20   | 0,1              | 4             |
| Peor/mejor Rendimiento a corto plazo | 10   | 0,05             | 5             |
| Total                                | 200  | 1                |               |

Tabla 18. Rendimiento de la estrategia Status Quo ( $a_1$ ) en el Escenario Mail Mountain ( $S_1$ )

| Objetivo                  | Ponderación | Calificación | Ponderación x Calificación |
|---------------------------|-------------|--------------|----------------------------|
| Rendimiento a corto plazo | 0,5         | 100          | 5                          |
| Rendimiento a largo plazo | 0,2         | 80           | 40                         |
| Participación del mercado | 0,15        | 100          | 20                         |
| Crecimiento               | 0,1         | 70           | 7                          |
| Flexibilidad              | 0,05        | 10           | 1,5                        |
| Calificación Agregada     | 73,5        |              |                            |

Tabla 19. Calificación Agregada para todas las combinaciones Escenario/Estrategia

| Estrategia               | Escenario           |                         |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|
|                          | Dog Fight ( $S_1$ ) | Mail Mountain ( $S_2$ ) |
| Status Quo ( $a_1$ )     | 4,5                 | 73,5                    |
| I+D ( $a_2$ )            | 41,5                | 87,5                    |
| Diversificarse ( $a_3$ ) | 42,5                | 76                      |

En este ejemplo se observa que, la estrategia de invertir en I + D ( $a_2$ ) parece ser la mejor opción;  $a_3$  es dominada por las otras dos estrategias, y  $a_2$  prácticamente domina en el conjunto de alternativas de solución planteadas.

La principal limitante de este enfoque radica en el hecho del pobre análisis de sensibilidad que se obtiene al finalizar la modelación, considerado que un enfoque MCDA debe considerar la participación de múltiples tomadores de decisión, podrían presentarse distorsiones de la información o preferencias conflictivas al momento de determinar las clasificaciones y ponderaciones. En respuesta a lo anterior surgen una variedad de paquetes computacionales fundamentados en MAVT, que brindan la oportunidad de visualizar el comportamiento del modelo ante cambios tanto en la clasificación como el la ponderación de los modelos, brindando así una



poderosa herramienta de análisis de sensibilidad. Adicionalmente este tipo de herramientas informáticas permiten una mejor visibilidad de la información de la problemática permitiendo a los tomadores de decisión sustentar mejor su elección.

## CAPÍTULO VI

# CONSTRUCCIÓN DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA

### PLANEACIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planeación con un enfoque más tradicional se basa con frecuencia en la premisa de que la aplicación de la experiencia profesional es suficiente para lograr objetivos bien definidos para garantizar una gestión eficiente y eficaz. Sin embargo, estos planes a menudo no tienen en cuenta la variedad de condiciones locales o la posible aparición de situaciones totalmente nuevas, y en ocasiones no provee un terreno apropiado para crear estrategias totalmente innovadoras [131] que pudieran constituirse en fuente de ventajas competitivas.

La planificación de escenarios ofrece un marco de trabajo para el desarrollo sustentable de todas las operaciones que intervienen en el curso normal del desarrollo de una organización, presenta además una alternativa consistente cuando el proceso decisorio se enfrenta a grados considerables de incertidumbre incontrolable y en ocasiones con un carácter irreductible.

La propuesta presentada en esta tesis tiene su principal objetivo en el hecho de proporcionar una alternativa de acercamiento entre las técnicas multicriterio y los enfoques más tradicionales del proceso de planeación en las empresas. Para esto se ha concebido la necesidad de aplicarlo a una problemática en particular, para este estudio se consideró la evaluación de alternativas considerando criterios propios del Desarrollo Sustentable, problemática que en la actualidad es objeto de estudio desde varios enfoques disciplinarios. Construyendo de este modo la posibilidad de proponer un enfoque que atienda las necesidades y tendencias actuales del medio en el que las empresas se mueven en la actualidad.

Respecto al Desarrollo Sustentable, puede verse el esfuerzo global por generar normativa en materia medio ambiental y el establecimiento de mecanismos de evaluación de impactos ambientales, sociales e incluso culturales. Esto es muestra del amplio interés que la sociedad en general ha volcado a esta problemática. Sin embargo uno de los retos que se presenta a la hora de evaluar alternativas con vías al Desarrollo Sustentable, radica fundamentalmente en dos hechos: en primer lugar, la menor visibilidad que el centro decisor tiene en cuanto se refiere a la calificación y cuantificación de los criterios asociados con esta problemática *v. g.* impactos sociales, emisiones a la atmosfera, calidad de los desechos, huella de carbono, por mencionar algunos, y en segundo lugar el reto de quienes tomas las decisiones se presenta a la hora de evaluar distintos escenarios, que con un número aunque finito de alternativas pudiera producir pérdida de objetividad al momento de asignar importancia o “peso” a cada criterio. Todo lo anterior aunado a la tónica de la mayoría de procesos de planeación: un proceso decisorio grupal.

Considerando todo lo anterior es lógico pensar en la posibilidad de diseñar una propuesta en la que se recojan tanto técnicas tradicionales de los procesos de evaluación y planeación como los diagramas causa-efecto, planeación por escenarios, ejercicios prospectivos entre otros, y técnicas de ayuda a la decisión multicriterio MCDA; seleccionando las distintas técnicas en base a un análisis crítico de sus bondades, aplicabilidad y falencias para crear una simbiosis que más allá de un ejercicio académico sea concebido con criterios de practicidad en su aplicación.

Respecto a la aplicabilidad de las técnicas multicriterio, aun cuando la literatura respecto a sus potenciales usos es basta, como ha sido referenciado a lo largo de los capítulos previos, existe aún poca difusión a nivel organizacional e incluso académico; limitante que en ocasiones es producida por el paradigma de complejidad de entendimiento y aplicación de las técnicas MCDA en vista de que presentan una base matemática. Para atacar esta problemática en la presente propuesta se presenta como solución, que si bien es necesario el entendimiento de los fundamentos de las técnicas en este caso AHP y PROMETHEE, es igualmente importante el uso de herramientas informáticas que ayuden tanto al analista como a los interesados para acercarse a este tipo de enfoque. Este es el caso de software especializado como lo son *Expert Choice* y *Decision Lab*, paquetes informáticos que serán utilizados en esta propuesta.

Para dar mayor visibilidad a la propuesta presentada en esta tesis, se ha considerado pertinente la formulación y desarrollo de un caso hipotético, mismo que será desarrollado a medida que se describa la propuesta a fin de que el lector tenga la posibilidad de una mayor comprensión de la aplicabilidad y limitaciones del proceso propuesto. La intención final de esta investigación es generar un conocimiento fértil, plantar la curiosidad y el interés por ahondar en este tipo de herramientas desde el punto de vista de aplicación en las particularidades de las empresas en los distintos niveles de toma de decisiones y selección de alternativas.

#### DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

En este apartado se pretende describir la propuesta metodológica, como alternativa de ayuda durante el proceso decisorio, se intenta como se menciona al inicio del presente trabajo dar un carácter práctico a la propuesta sin dejar el rigor metodológico necesario para sustentar la metodología, técnicas y herramientas utilizadas.

El modelo propuesto parte de 4 ejes: los criterios de sustentabilidad, la asignación de importancia o “peso” a los criterios y alternativas, el proceso grupal de decisión y finalmente la creación y evaluación de escenarios

Respecto a la asignación de pesos o ponderación de los criterios existe gran variedad de metodologías, entre las cuales se encuentra el AHP (*Analytical Hierarchy Process*) y que también además de asignar pesos se puede considerar como una metodología estructurada de toma de decisión. Dado que en este planteamiento no se precisa una asignación de pesos a priori, sino que esta es una consecuencia.

## CRITERIOS TRADICIONALES DE EVALUACIÓN

El objetivo de este apartado es mostrar algunos de los enfoques tradicionales más ampliamente aceptados en cuanto tiene que ver con la evaluación de alternativas en los procesos decisionales en la mayoría de las organizaciones. La intención de este apartado es estructurar un breve resumen de la concepción del “análisis costo-beneficio”, mostrando su finalidad, parámetros que considera, así como las diversas técnicas que sirven de apoyo para su aplicación.

Como se ya se mencionó anteriormente se pretende conjuntar las técnicas multicriterio (específicamente AHP y PROMETHEE) a un enfoque más tradicional de selección de alternativas a fin de generar un proceso más robusto en cuanto a una evaluación más integral de las alternativas.

### ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO (CBA)

Un análisis de costo-beneficio consiste en obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido. Se aplica frecuentemente para determinar cuál de las distintas opciones ofrece mejor rendimiento sobre la inversión. Esta herramienta es especialmente útil en proyectos de mejora de la calidad, y cuando un equipo está evaluando las alternativas de solución a una situación determinada [132].

Para el cálculo de la relación Costo-Beneficio también se requiere de la existencia de una tasa de descuento para su cálculo. Para determinar el costo-beneficio, primero se establecen por separado los valores actuales de los ingresos y los egresos, luego se divide la suma de los valores actuales de los costos e ingresos. En la ecuación se muestra la forma de calcular este coste respecto a su beneficio:

$$B/C = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{Vi}{(1+i)^i}}{\sum_{i=0}^n \frac{Ci}{(1+i)^i}}$$

dónde: **B/C** = Relación Beneficio/Costo

**Vi** = Valor de la producción (beneficio bruto)

**Ci** = Egresos (i = 0, 2, 3,4...n)

**i** = Tasa de descuento

En definitiva, se pueden dar presentar situaciones en la relación Beneficio Costo:

Relación **B/C > 0**

Índice que por cada peso de costo se obtiene más de un peso de beneficio. En consecuencia, si el índice es positivo o cero, el proyecto debe aceptarse.

Relación **B/C < 0**

Índice que por cada peso de costo se obtiene menos de un peso de beneficio. Entonces, si el índice es negativo, el proyecto debe rechazarse.

Finalmente, el valor de la relación coste-beneficio cambiará según la tasa de descuento seleccionada, o sea, que cuanto más elevada sea dicha tasa, menor será la relación en el índice resultante.

Existen varias técnicas para para obtener este análisis los cuatro principales son: punto de equilibrio, período de retorno o de devolución, valor de presente neto (el más común) y la tasa interna de retorno. A continuación se definen cada una de ellas. Es importante describir estas técnicas en virtud de que son ampliamente utilizadas en la evaluación de proyectos. Sin embargo a poseen falencias particulares que se analizaran al final del apartado. La idea de la presente tesis es balancear estas deficiencias.

### PUNTO DE EQUILIBRIO

El punto de equilibrio Se define como el tiempo necesario que tomaría el total de incremento de ingresos y la reducción de gastos sea igual al coste total. Es una herramienta financiera que permite determinar el momento en el cual las ventas cubrirán exactamente los costos, expresándose en valor monetario o porcentual. Observar el punto de equilibrio para realizar una mejora del beneficio en un proyecto, es una de las formas más sencillas de hacer el análisis de coste-beneficio [132].

Para la determinación del punto de equilibrio debemos en primer lugar conocer los costos fijos y variables de la empresa; entendiendo por costos variables aquellos que cambian en proporción directa con los volúmenes de producción y ventas, por ejemplo: materias primas, mano de obra a destajo, comisiones. Por costos fijos, aquellos que no cambian en proporción directa con las ventas y cuando importe y recurrencia son prácticamente constantes, como son la renta del local, los salarios, las depreciaciones, amortizaciones.

El análisis se define como:

$$\text{Punto de equilibrio} = (\text{Costes fijos totales}) / (1 - \text{costes variables/ventas})$$

### PERIODO DE DEVOLUCIÓN

El Período de devolución (*Payback Period*) es el tiempo necesario para recuperar el monto inicial de una inversión de capital de un proyecto. Calcula la cantidad de tiempo que se tomaría para lograr el flujo de caja positivo igual a la inversión total.

Toma en cuenta los beneficios, tales como el valor asegurado, indicando esencialmente la liquidez del esfuerzo por mejorar el proceso, en vez de su rentabilidad.

La forma de calcular el período de devolución es la siguiente:

$$PP = (\text{Coste proyecto/inversión}) / \text{Efectivo total anual}$$

El período de reembolso es el método más sencillo para analizar estudios de inversión, centrándose esencialmente en la recuperación de costes de inversión.

#### VALOR PRESENTE NETO

Del inglés *Net Present Value* se representa generalmente por los acrónimos NPV, VPN o VAN. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los *cash-flows* futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto. La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = -A + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+i)^n}$$

#### TAZA INTERNA DE RETORNO

La tasa Interna de retorno, La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. El VAN o VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

dónde:  $Q_i$  = es el Flujo de Caja en el periodo  $i$ .

**TIR**= es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para comparar la factibilidad de diferentes opciones de inversión. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida.

Aunque es deseable que los beneficios sean más grandes que los costos, no existe una respuesta única de cuál es la relación ideal de beneficio a costo. Existe en ciertas ocasiones ganancias que no necesariamente son económicas, sino pudieran ser de naturaleza social, por ejemplo motivación de los empleados, responsabilidades legales y seguridad en el trabajo [61], etc., y pueden ser beneficios escondidos que no son evidentes en el análisis original. Es aquí donde se presenta una de las mayores desventajas o falencias cuando el análisis se hace únicamente en función de criterios monetarios, similar situación se produce cuando la intención del análisis incluye

monetarizar todos los criterios a fin de poder usar una función aditiva que generalmente conduce a una falsa apreciación del valor denominado Costo Total.

## ESTRUCTURACIÓN DE LA PROPUESTA

Durante el desarrollo de los capítulos anteriores se han revisado algunas de las metodologías, herramientas y criterios involucrados en la selección de alternativas, se han identificado sus fortalezas y debilidades, y se han presentado opiniones de varios autores respecto a distintas experiencias en su utilización especialmente en cuanto se refiere a los métodos multicriterio discretos. En el apartado anterior se describen algunas de las técnicas de evaluación más ampliamente difundidas en los entornos decisionales, estas últimas servirán de base para representar la caracterización típica de los criterios asociados con los aspectos netamente económicos, que si bien muchas veces son de altísima importancia, no deben ser los únicos criterios a considerar.

En la Figura 13 podemos observar un esquema que representa un proceso decisorio típico, este servirá de plataforma para construir la metodología propuesta. Como se puede ver en la figura la propuesta integra metodologías multicriterio al proceso tradicional en el proceso de ponderación multicriterio, esto se justifica en dos hechos: los procesos decisionales generalmente se desarrollan en grupo, además el Desarrollo Sustentable demanda la participación de los sectores interesados o afectados de la población y representantes designados para salvaguardar los intereses ambientales. El segundo hecho es la particular característica del cerebro humano según la cual una persona pierde la capacidad de discriminar cuando se le presenta un número mayor a 7 alternativas en un proceso decisorio, Saaty [25] hace alusión a esta característica en la presentación de su método AHP.

La siguiente propuesta respecto al uso de herramientas multicriterio en esta proposición metodológica se argumenta en el hecho de que las funciones de preferencia de cada criterio no pueden restringirse a dos posibilidades típicamente utilizadas: maximizar o minimizar el valor cualitativo o cuantitativo del criterio. La técnica PROMETHEE ofrece la virtud como se describió en capítulos anteriores de manejar seis funciones que representan las preferencias de los decisores respecto al comportamiento de los valores admisibles para cada criterio. Estas funciones son particulares para cada criterio involucrado en el análisis.

Por otra parte, como se explicará más ampliamente en apartados posteriores de este capítulo, la técnica AHP presenta dificultades cuando se trata de manejar gran número de alternativas, hecho que por el contrario constituye una ventaja de PROMETHEE. En este sentido el *software Decision Lab* permite la posibilidad de evaluar además varios escenarios decisorios y analizar comparativamente sus posibles rendimientos/repercusiones.

A continuación se describe y sustenta la propuesta metodológica a la vez que se desarrolla un caso práctico para darle mayor visibilidad. Es de importancia mencionar que en el desarrollo del caso de aplicación no se hace un análisis exhaustivo de todos los criterios de evaluación implicados en la

problemática, lo anterior con el fin de no extender en demasía el ejemplo. Evitando el riesgo de perder la atención del lector en el planteamiento metodológico de la propuesta.

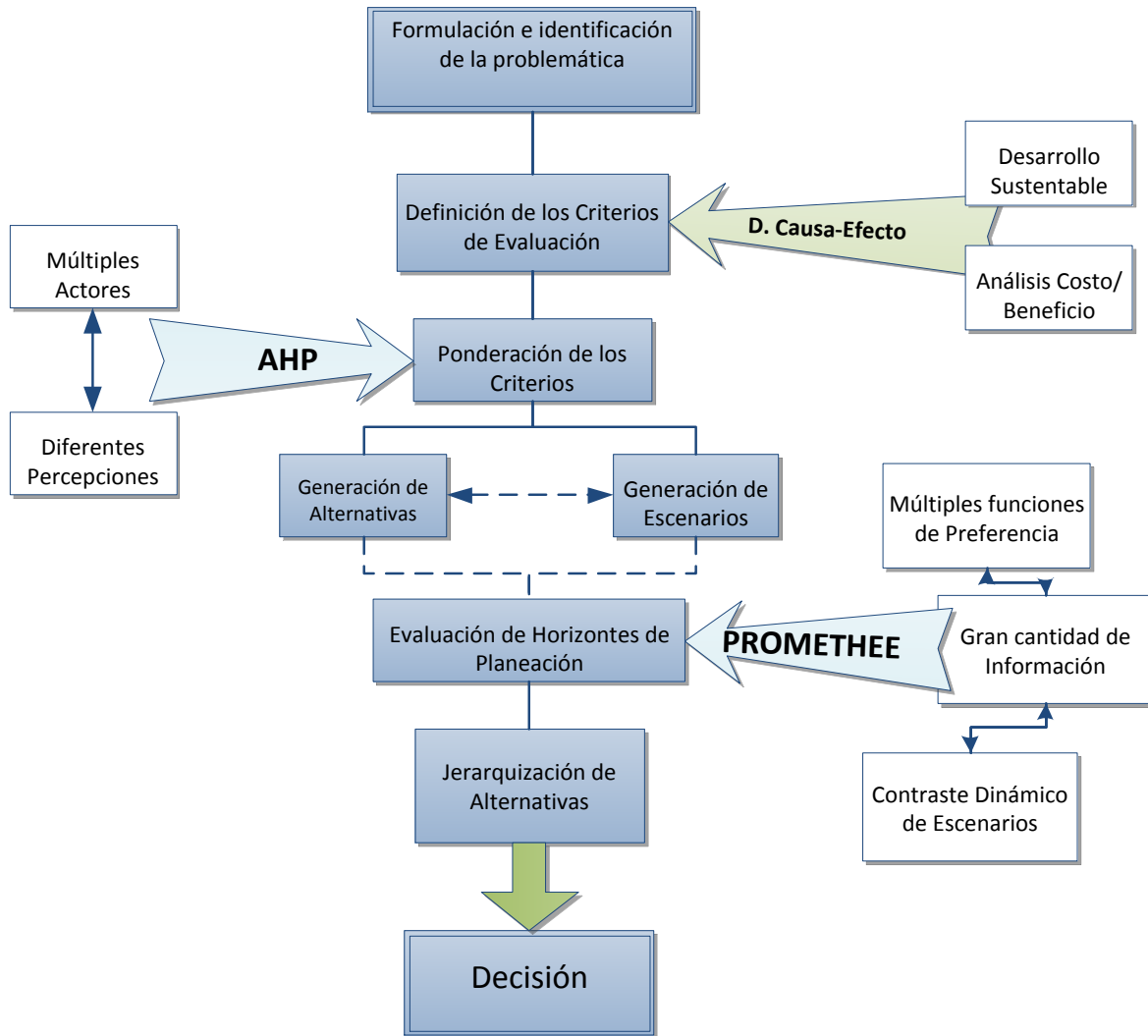


Figura 13. Esquema general de la propuesta metodológica

### DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN

El primer paso de esta propuesta es la identificación de los criterios mediante los cuales las alternativas serán evaluadas, la participación de todos los actores involucrados en el proceso es importante, particularmente en esta primera fase, considerando que como se describe en el capítulo III, la concepción de sustentabilidad puede diferir de persona a persona.



Los medios de evaluación e indicadores del desarrollo sustentable fueron descritos en el capítulo dedicado al desarrollo sustentable, y servirán de marco referencial para la correcta identificación de los ejes de evaluación de las alternativas. Es necesario procurar que los criterios sean global, regional y sectorialmente comparables, a fin de darle mayor universalidad y riqueza al modelo y por qué no, pensar en generar una bitácora de lecciones aprendidas en cada proceso.

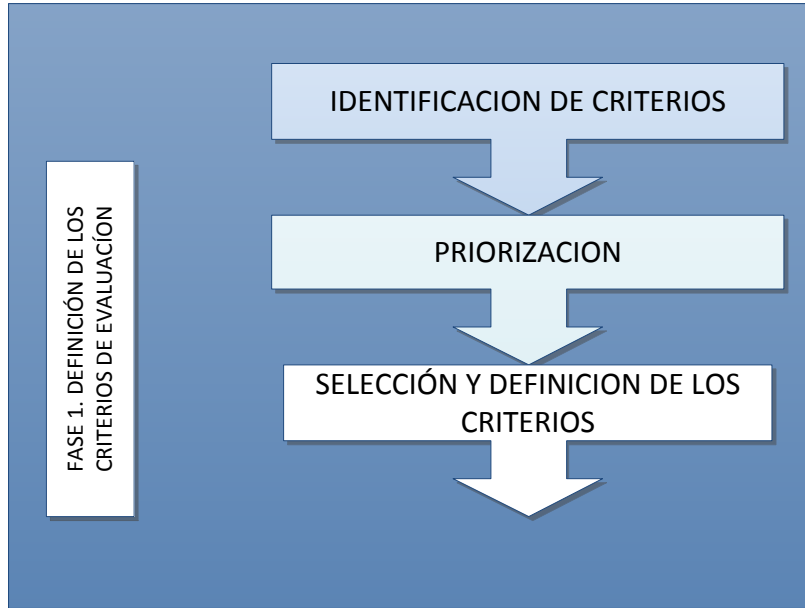


Figura 14. Propuesta de Selección de los criterios

Como se presenta en la Figura 14 el primer paso de esta fase es identificar todos los criterios involucrados en la valoración de las alternativas, para esto se proponen las siguientes técnicas:

- I. **REVISIÓN DE DOCUMENTACIÓN:** realizar una revisión estructurada en busca de los objetivos de sustentabilidad que se busca en la decisión, esta revisión puede tener dos enfoques:
  - a. **Bibliografía científico-técnica;** experiencias reportadas en proyectos o en sectores productivos similares, sistemas de indicadores propios del giro empresarial publicados.
  - b. **Legislación;** se considera la revisión de la normativa global, regional, local y sectorial relativa a los factores de sustentabilidad de la problemática en discusión, pues refleja la experiencia desde múltiples áreas del conocimiento y las expectativas de varios sectores representativos de la comunidad.
- II. **TORMENTA DE IDEAS O BRAINSTORMING:** se trata de una dinámica de grupo en la que participan personas seleccionadas previamente, representativas de los diversos sectores involucrados en la problemática. La idea es brindar la mayor diversidad de enfoques con

vista al desarrollo sustentable. Es posible que surjan ideas con aplicación mínima o nula, sin embargo esto no tiene importancia pues el siguiente paso de esta fase es la priorización previa a la selección final de los criterios.

- III. **TÉCNICAS DE DIAGRAMACIÓN:** donde se incluirán los diagramas Causa-Efecto también conocidos con el nombre de Ishikawa en honor a su creador, o los diagramas de flujo o de sistemas, que muestran la relación entre los diferentes elementos del problema y la causalidad.

Estas técnicas deben aplicarse independientemente una de otras para evitar que exista cualquier clase de sesgo influido por los resultados obtenidos por una aplicación previa. Otro punto propuesto en la metodología es la no necesidad de aplicar todas las técnicas antes descritas, queda a juicio del centro decisor en función de la calidad del análisis previo, disponer o no la realización de estas y otras técnicas de investigación. En caso de aplicar todas las técnicas antes expuestas se obtendría 3 listas de criterios posibles, independientes una de otra. Posiblemente gran cantidad de los elementos de las lista sean coincidentes en todas ellas sin embargo la elaboración de indagaciones por medio de distintos enfoques abre la posibilidad de identificar criterios de importancia que se pudieran pasar por alto.

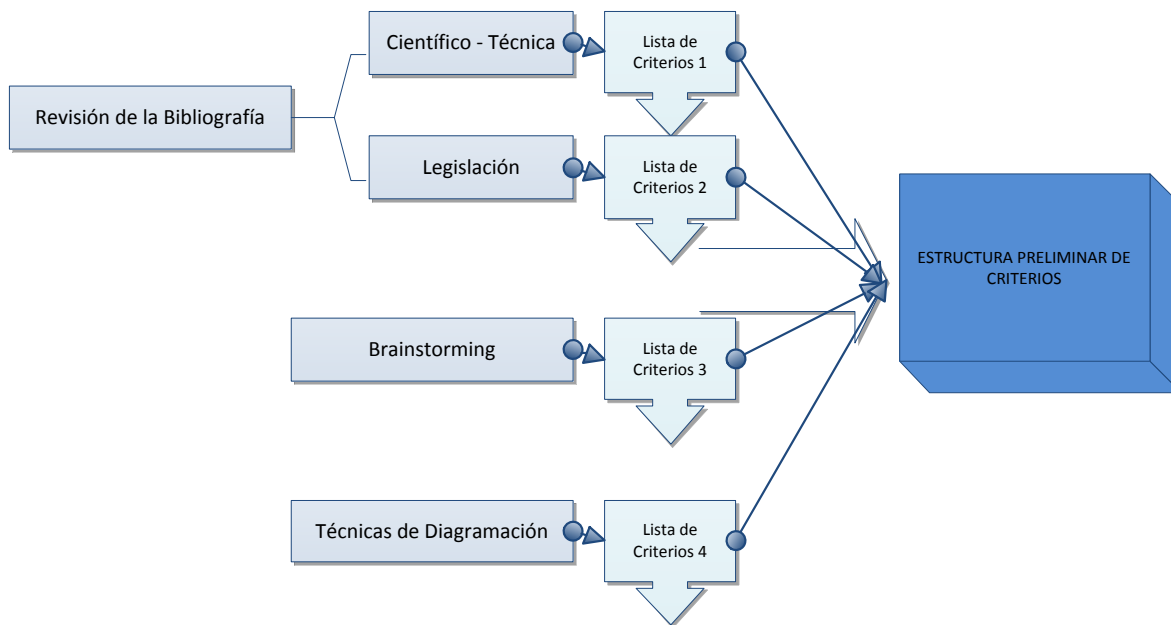


Figura 15. Identificación de criterios

El siguiente paso propuesto es la creación de la Estructura Preliminar de Criterios, esta es una forma visual de mostrar la preselección de criterios los cuales pueden ser representados en una estructura jerárquica clasificándolos de acuerdo a la conveniencia del centro decisor; por fase del proyecto (si es el caso), por eje de sustentabilidad, por duración estimada, por impacto estimado,

por normativa sugerida u obligatoria, etc. Esta herramienta está concebida como una ayuda para el mejor entendimiento de los factores involucrados en la decisión, en la Figura 16 se muestra un ejemplo de cómo puede estructurarse esta herramienta visual.

Esta estructura está concebida además como un documento que permita el dinamismo del proceso, al permitir registrar la importancia particular que los involucrados dieron a los distintos criterios, este documento puede ser registrado en el archivo interno de la organización a fin de poder ser consultado en futuras decisiones como elemento de análisis de la fase de Revisión de Documentación.

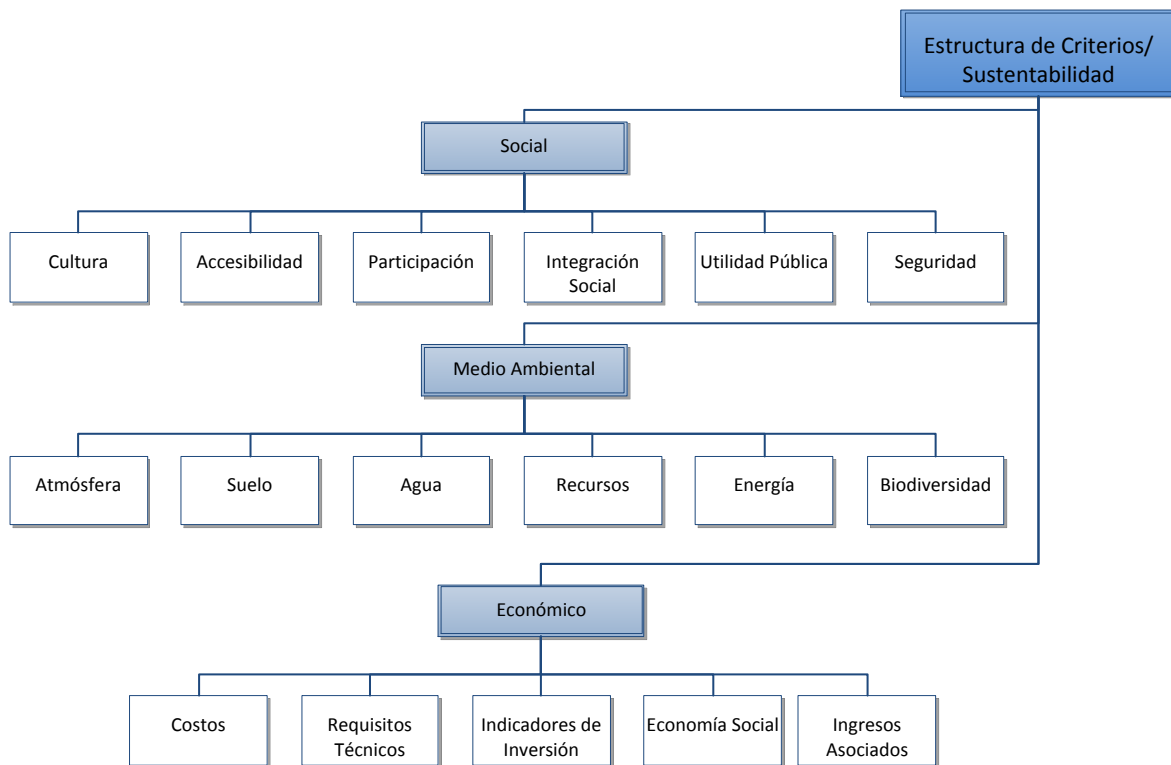


Figura 16. Ejemplo de Estructura Preliminar de Criterios

A esta estructura preliminar se le han de añadir los criterios más tradicionales de evaluación de alternativas, estos generalmente provienen del análisis Costo/Beneficio descrito al inicio de este capítulo de esta manera se obtiene un portafolio de criterios más robusto que permitirá un análisis decisorio integral.

La siguiente fase de la propuesta es la ponderación de los criterios, es decir la asignación de importancia a cada uno de ellos, en esta fase algunos de los criterios previamente considerados

serán desechados por no considerarse claves en el siguiente apartado se hace una descripción más profunda del procedimiento propuesto.

## PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS

Obtenida una selección preliminar de los criterios de evaluación de las alternativas es importante asignarle una importancia a cada uno de ellos, en virtud de que cada organización posee objetivos y políticas propias sin olvidar la normativa aplicable a cada problemática particular. El proceso decisorio como ya se ha mencionado generalmente no es unipersonal por los que recoger los grados de importancia de los distintos actores merece un tratamiento metodológico particular.

AHP, a diferencia de otros métodos, incluye una etapa completa para analizar y determinar el valor de los pesos de los criterios, a través de una secuencia de comparaciones por pares, aunque como ya se mencionó anteriormente, este proceso está limitado por la escala de 9 puntos de Saaty. Para fines de esta tesis, se considera un punto favorable el que AHP cuente con una etapa exclusiva y formalizada para el análisis de las preferencias. Respecto a la escala de 9 puntos propuesta en esta metodología, para los fines de esta propuesta se considera un punto a favor, puesto que permite a los actores determinar una importancia relativa a cada criterio, el *software Expert Choice* que se utilizará para efectuar este proceso permite tomar las preferencias de todos los involucrados para posteriormente asignar un valor único producto del análisis de los pesos dictados por cada participante.

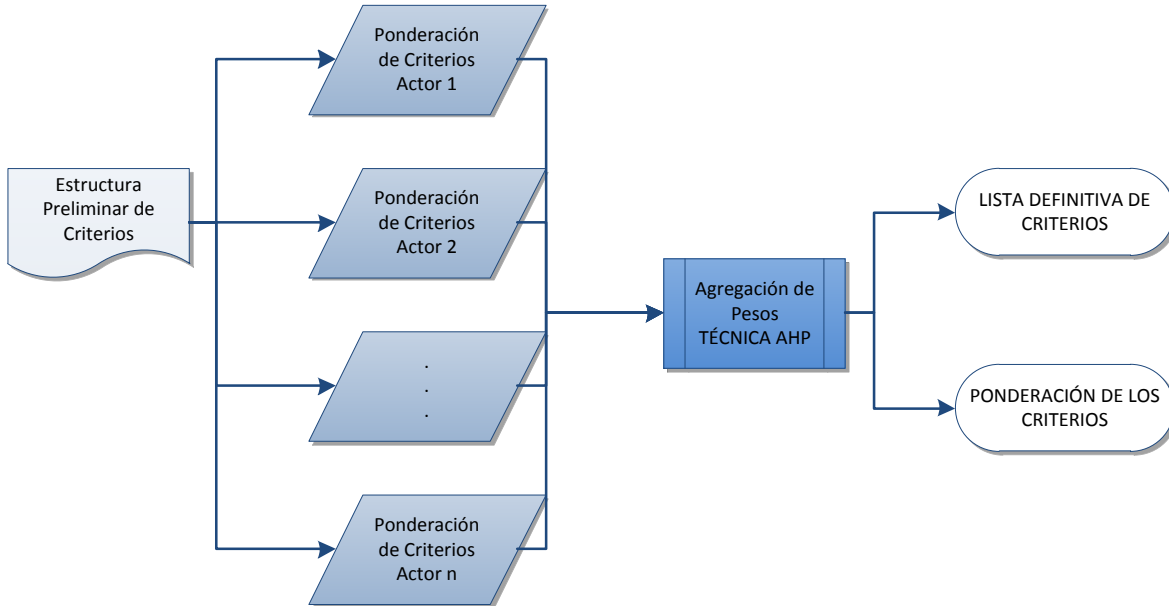


Figura 17. Esquema de la Fase 2: Ponderación de Criterios

En esta propuesta se considerarán los principios sugeridos por Harger y Mayer [133] según los cuales un sistema de criterios en un entorno de sustentabilidad debe cumplir con las siguientes características:

- Simplicidad, debe ser un sistema manejable, funcional y sencillo.
- Alcance, el sistema de criterios deberá cubrir la diversidad de los temas relacionados tanto con el desarrollo empresarial como con el desarrollo sustentable (temas ambientales, sociales y económicos) y solaparse lo menos posible.
- Cuantificación, los criterios deben ser medibles de algún modo (cualitativa o cuantitativamente).
- Sensibilidad, el sistema de criterios debe ser sensible a los cambios.

En concordancia con los objetivos planteados en esta tesis, se pretende presentar al lector la propuesta lo más didácticamente posible, para ello se desarrollara un caso de aplicación de la propuesta, este se irá desarrollando a medida que las fases de la metodología se vayan describiendo, a continuación de describe la problemática y las dos fases metodológicas ya descritas.

## CASO DE APLICACIÓN

### DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Una institución multinacional tiene como fin último asignar recursos financieros por concurso a proyectos en el sector industrial, para esto la propia institución debe caracterizar, calificar y seleccionar a los proyectos concursantes, para este fin se organiza anualmente una convocatoria a participar de estos fondos. Los recursos que esta institución canaliza provienen de una variedad de sectores empresariales a nivel internacional cuya premisa fundamental es promover el desarrollo tecnológico, económico, social y ambiental de los países en vías de desarrollo.

La institución lleva poco tiempo (2 años, con apertura anual de convocatorias) de puesta en operación, por lo que ha reportado algunos problemas para evaluar integralmente todas las dimensiones de las alternativas postulantes a los fondos. Principalmente por la diversidad de giros de negocio que se presentan.

Para este año se han presentado 3 alternativas, las mismas que deberán ser evaluadas considerando los criterios antes descritos. (Las características de las alternativas están descritas en la siguiente fase de la propuesta metodológica. *Generación de Alternativas y Escenarios*).

Puesto de esta manera los objetivos principales de caso hipotético de estudio son:

- Crear un sistema de criterios de evaluación respecto a los pilares del Desarrollo sustentable
- Jerarquizar las alternativas, pues es imposible determinar un óptimo cuando no se compara iguales
- Gestionar el conocimiento respecto al análisis multicriterio
- Ejemplificar la propuesta metodológica de esta tesis

FASE 1. DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN

TÉCNICA 1. REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA

Esta técnica es ampliamente utilizada en trabajos de investigación, como es el caso del presente, para obtener la lista de criterios se estructuró una búsqueda de la literatura científico-técnica en cuanto tiene que ver a criterios de evaluación de sustentabilidad, dando particular importancia a los reportes y artículos relacionados con el sector industrial. Gran parte de la información recogida en esta fase ha servido a dos propósitos: crear un marco referencial consistente con la problemática (capitulo III Desarrollo Sustentable) y servir de fuente de información para ejemplificar esta fase de la propuesta.

Respecto a revisión estructurada de la legislación aplicable al desarrollo sustentable se encontró que en México, a través del INEGI [69] se ha estructurado y desarrollado un sistema de indicadores de sustentabilidad descrito al final del capítulo III en las Tablas Tabla 3, Tabla 4Tabla 5 Tabla 6. Este proceso se presenta esquematizado a continuación.

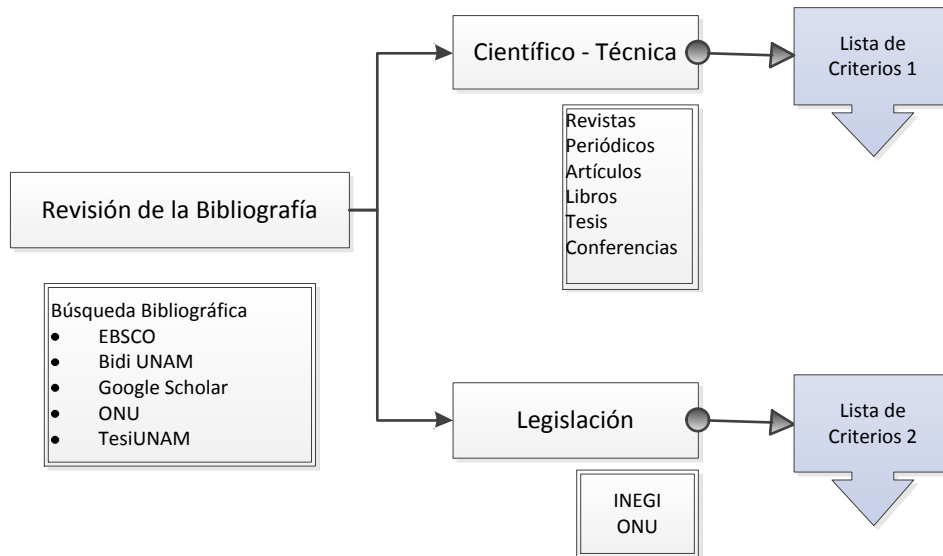


Figura 18. Aplicación de la Revisión Bibliográfica

Producto de la revisión de los textos científico-técnicos se ha identificado las siguientes dimensiones de los criterios de sustentabilidad:

Tabla 20. Dimensiones de los criterios, Identificadas en base a la literatura científico-técnica

| Dimensión               |
|-------------------------|
| Seguridad y Salud       |
| Social                  |
| Medio Ambiente          |
| Economía                |
| Residuos                |
| Utilización de Recursos |
| Energía                 |

Así mismo de la revisión de los criterios descritos por la legislación se identifican las dimensiones descritas en la tabla siguiente:

Tabla 21. Dimensiones de los criterios, Identificadas en base a la revisión de la normativa y legislación

| Dimensión              |
|------------------------|
| Cambio Climático       |
| Energía                |
| Agua-Recursos Hídricos |
| Suelo                  |
| Recursos               |
| Biodiversidad          |
| Aire-Atmosfera         |
| Desarrollo Económico   |
| Seguridad              |

De acuerdo a la propuesta metodológica utilizando como técnica la revisión de la documentación disponible, se ha podido desarrollar las primeras 2 listas de dimensiones de los criterios de evaluación, a continuación se describe la aplicación de la siguiente herramienta propuesta.

**TÉCNICA 2. TORMENTA DE IDEAS (BRAINSTORMING)**

Las técnicas de recopilación de información usualmente utilizadas en los procesos de planeación o ejercicios prospectivos en las organizaciones son sin lugar a duda herramientas importantes consideradas en ésta propuesta, se ha creído conveniente describir la aplicación de tan solo una de ellas; la tormenta de ideas, sin embargo la puerta queda abierta al desarrollo de otras técnicas diseñadas estructuralmente para recopilar información como Encuestas y Entrevistas a personal experto en la particularidad de la problemática.

La idea de establecer un ejercicio de grupo es la de construir un lista de criterios de evaluación para la problemática particular de estudio, la dinámica se desarrolla con la participación de un moderador y un grupo multidisciplinaria de participantes, esto a fin de procurar la mayor diversidad de enfoques posible a un realidad común. La Figura 19 representa la estructuración de la dinámica propuesta.

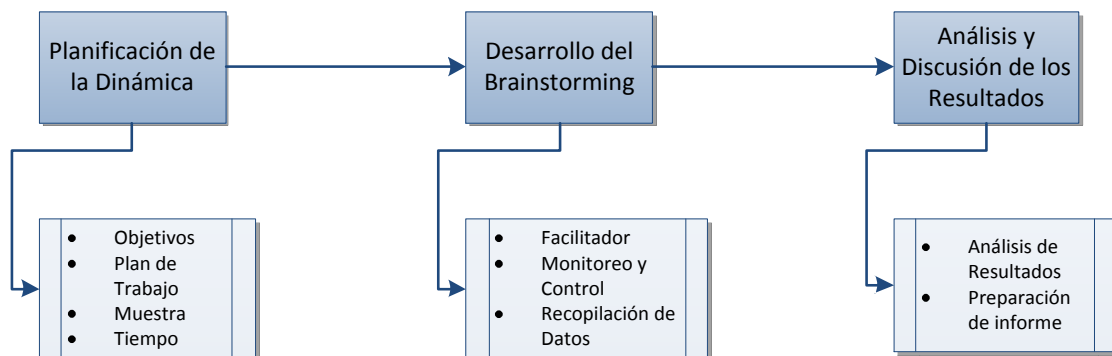


Figura 19. Estructuración de la técnica *Brainstorming*

Para el desarrollo de esta dinámica se consideró la participación de alumnos de la Maestría en Administración Industrial MAI-UNAM tomando como principales virtudes: la diversidad en cuanto al tipo de formación académica, sector productivo en que laboran, distintos niveles ocupados en las organizaciones por parte de los participantes. El ejercicio se realizó con 11 estudiantes de la Maestría en Administración Industrial MAI-UNAM, considerando la pluralidad de perfiles de los estudiantes, provenientes principalmente de las siguientes áreas:

- Ingeniería Química y de procesos,
- Instituciones gubernamentales,
- Química de Alimentos,
- Ingeniería Mecánica, y de la
- Industria Farmacéutica

A continuación se enuncian los criterios de evaluación identificados en la dinámica de grupo:

Tabla 22. Criterios obtenidos del ejercicio de Tormenta de Ideas

| <b>Criterios de evaluación</b>                                |
|---|
| Consumo de energía renovable/no renovable                     |
| Emisiones de CO2  |
| Afectación al Paisaje   |
| Especies protegidas Afectadas                                 |
| Perdida de la biodiversidad                                   |
| Consumo de Materias Primas                                    |
| Relación Costo/beneficio                                      |
| Consumo de Agua   |
| Ética del Proyecto  |
| Costo Social (Oportunidades para las futuras generaciones)    |
| Economía Local (Diversificación económica y riesgo económico) |
| Flexibilidad del proyecto ante los cambios                    |
| Participación de los ciudadanos                               |
| Compensación de los recursos                                  |
| Superficie total afectada por el proyecto                     |
| Calidad de los residuos                                       |
| Transporte  |
| Integración social  |

Es necesario mencionar que algunos de los criterios considerados por los participantes difícilmente pudieran ser incluidos debido a la dificultad para cuantificarlos, ejemplo de esto son: Ética del proyecto o la cuantificación del grado de afectación al paisaje; principalmente por la subjetividad que involucran. Sin embargo no son criterios rechazables simplemente llevarían mayor tiempo de análisis y el estudio adicional de técnicas apropiadas para el efecto. Para los propósitos de esta tesis estos criterios serán no considerados para incluirlos en el proceso de ponderación y posterior evaluación de alternativas. Las dimensiones de los criterios identificados en el proceso de tormenta de ideas se recogen en la siguiente tabla.



Tabla 23. Dimensión de los criterios en base al proceso *Brainstorming*

| Dimensión                             |
|---------------------------------------|
| Medio Ambiente                        |
| Económicos (Relación Costo/Beneficio) |
| Economía Social                       |
| Integración Social                    |
| Residuos                              |

**TÉCNICA 3. DIAGRAMA CAUSA-EFECTO**

Los Diagramas Causa-Efecto ayudan a identificar las causas reales y potenciales de un suceso en particular. De modo que al identificar las causas se puede identificar las estrategias para evitar problemas, en esta propuesta se sugiere su uso para identificar los criterios de evaluación a partir de la identificación de los problemas que se pudieran presentar. A fin de minimizar o anular los efectos no deseados de una u otra alternativa, siendo además este análisis de ayuda para reestructurar de ser necesario las alternativas propuestas en el proceso decisorio. Generalmente su uso está ligado a las fases de diagnóstico y solución en los procesos empresariales u operativos sin embargo en esta propuesta se utilizara esta técnica para identificar los factores o criterios que surgen como retos cuando se adoptan políticas de evaluación asociadas al concepto de Desarrollo Sustentable.

Conocidos también como Diagramas de *Espina de Pescado* o Diagramas de Ishikawa [134] en honor a su creador, mostrado en la Figura 20. Para esta propuesta se considerará además de las causas y el efecto, propios del diagrama, los posibles criterios que se derivan de los factores o fuentes identificados, finalmente se pretende obtener una lista de criterios sus dimensiones de igual forma que con las anteriores técnicas propuestas.

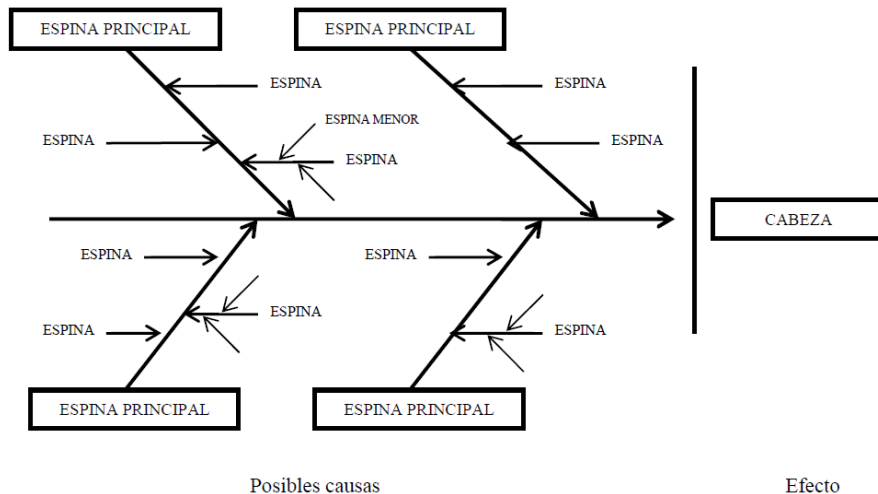


Figura 20. Diagrama de Causa-Efecto, Ishikawa [134]

Siguiendo con el caso de aplicación propuesto se han desarrollado 8 diagramas Causa-Efecto, considerando como efectos los siguientes aspectos:

- cambio climático,
- biodiversidad,
- uso de recursos y generación de residuos,
- gestión de riesgos medioambientales,
- bienestar de la comunidad,
- seguridad,
- valor social y cultural, y
- gestión y financiación.

Estas categorías de impactos o efectos han sido seleccionados por el autor en función tanto de las dimensiones identificadas por las técnicas anteriores como por los criterios identificados a lo largo de la elaboración de esta tesis y además se los considera adecuados para aplicarse en el caso de aplicación propuesto.

- CAMBIO CLIMÁTICO

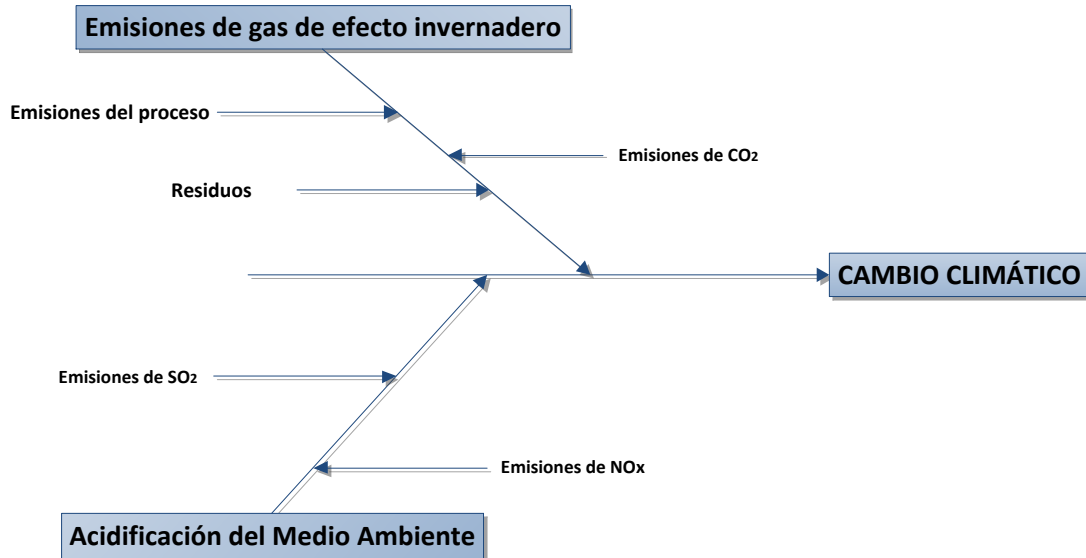


Figura 21. Diagrama Causa-Efecto. Cambio Climático

De las causas que afectan al cambio climático a fin de minimizar o anular el o los impactos se pueden identificar los siguientes posibles criterios de evaluación de las alternativas:

- Emisiones de Gases de Invernadero en el proceso
- Calidad de los Residuos
- Emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>

• BIODIVERSIDAD

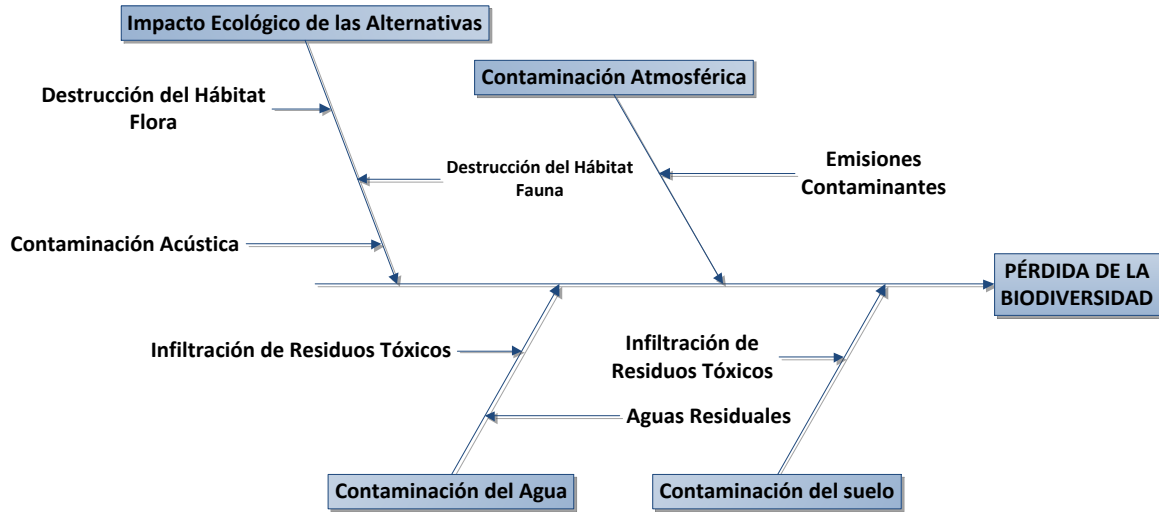


Figura 22. Diagrama Causa-Efecto. Biodiversidad

De las causas que afectan a la pérdida de la biodiversidad, a fin de minimizar o anular el o los impactos se pueden identificar los siguientes posibles criterios de evaluación de las alternativas:

- Localización
- Impacto Ambiental
- Gestión de Residuos
- Tratamiento de Aguas Residuales
- Emisiones solidas a la atmósfera

• CONSUMO DE RECURSOS Y GENERACION DE RESIDUOS

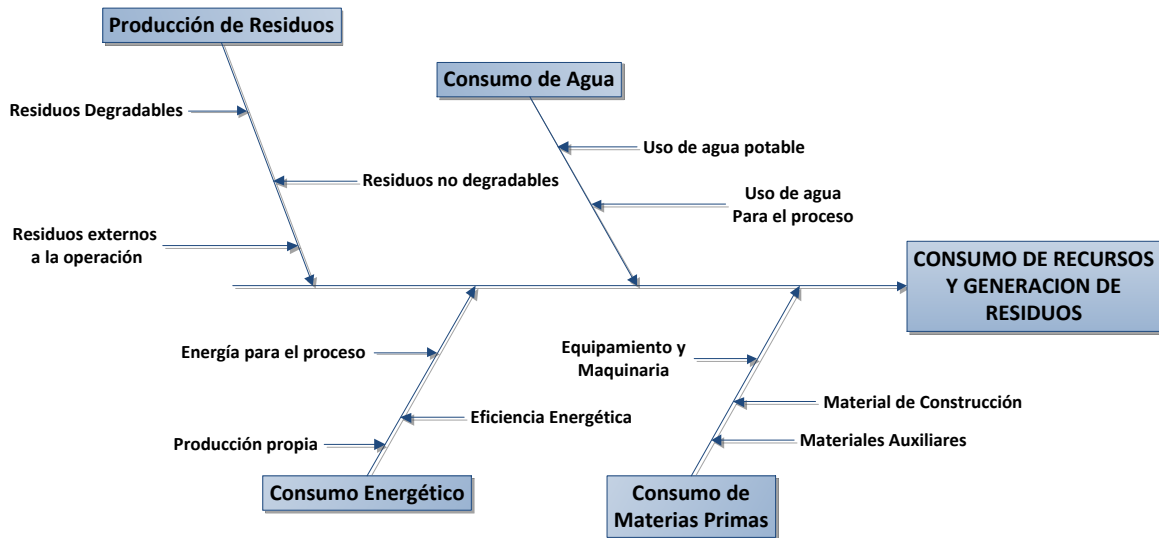


Figura 23. Diagrama Causa-Efecto. Consumo de recursos y generación de desechos

De las causas que afectan al consumo de recursos y generación de residuos, a fin de minimizar o anular el o los impactos se pueden identificar los siguientes posibles criterios de evaluación de las alternativas:

- Planificación y control de los residuos producidos
- Ahorro y gestión de los recursos materiales
- Ahorro y gestión del consumo de agua
- Ahorro y eficiencia energética

- GESTIÓN DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES

De las causas que afectan al consumo de recursos y generación de residuos, a fin de minimizar o anular el o los impactos se pueden identificar los siguientes posibles criterios de evaluación de las alternativas:

- Gestión de calidad v. g. ISO 9001
- Gestión medioambiental v. g. ISO 14001
- Diseño preventivo ante riesgos medioambientales
- Gestión de Proveedores
- Localización: Aspectos sísmicos

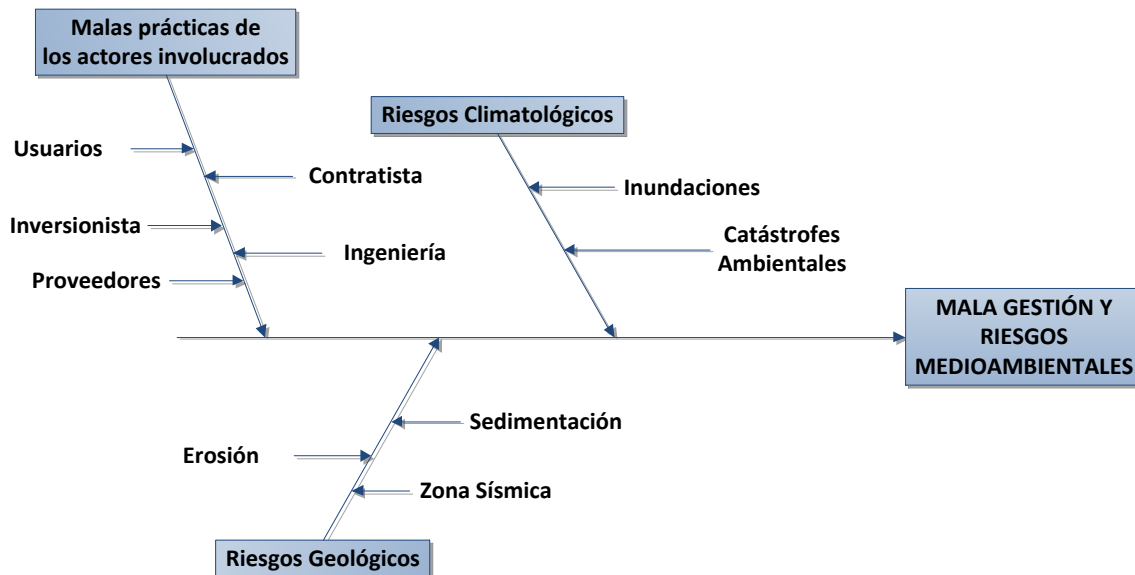


Figura 24. Diagrama Causa-Efecto. Riesgos medioambientales

- BIENESTAR DE LA COMUNIDAD

De las causas que afectan al bienestar de la comunidad, a fin de minimizar o anular el o los impactos se pueden identificar los siguientes posibles criterios de evaluación de las alternativas:

- Nivel de Ruido y Vibraciones
- Seguridad y salud de trabajadores y vecinos
- Formación e información del personal

- Nivel de participación de la ciudadanía
- Nivel de inversión en la comunidad

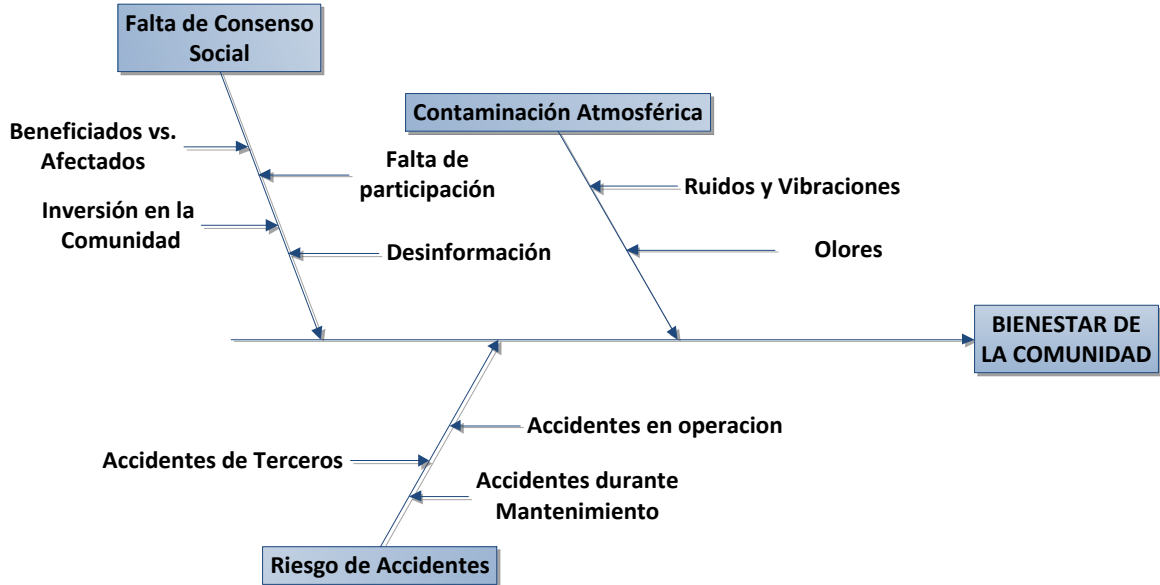


Figura 25. Diagrama Causa-Efecto. Bienestar de la Comunidad

- SEGURIDAD

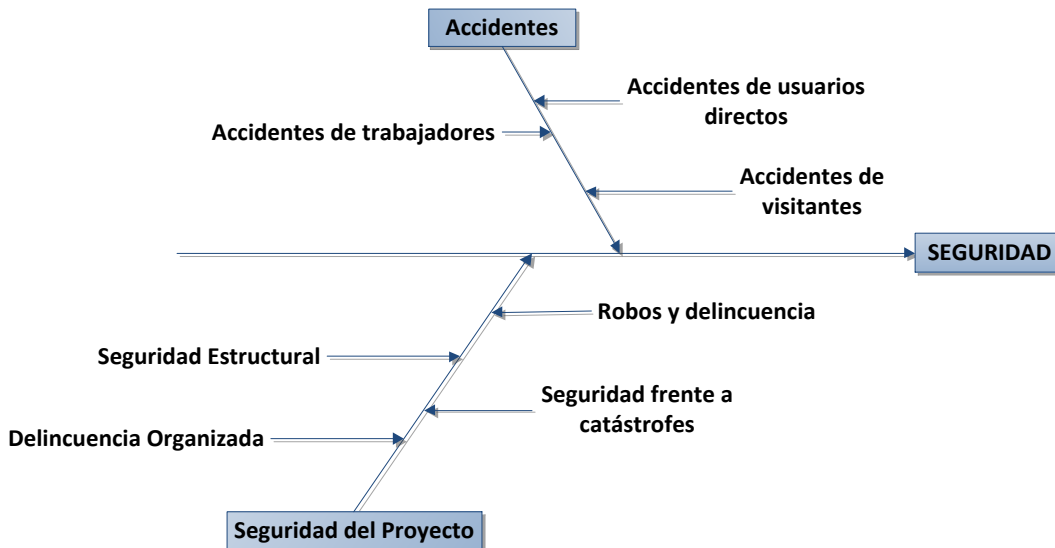


Figura 26. Diagrama Causa-Efecto. Seguridad

De las causas que afectan la seguridad, a fin de minimizar o anular el o los impactos se pueden identificar los siguientes posibles criterios de evaluación de las alternativas:

- Seguridad y salud de los trabajadores
- Seguridad y salud de los visitantes y personal externo

○ Plan de gestión de riesgos

• VALOR SOCIAL Y CULTURAL

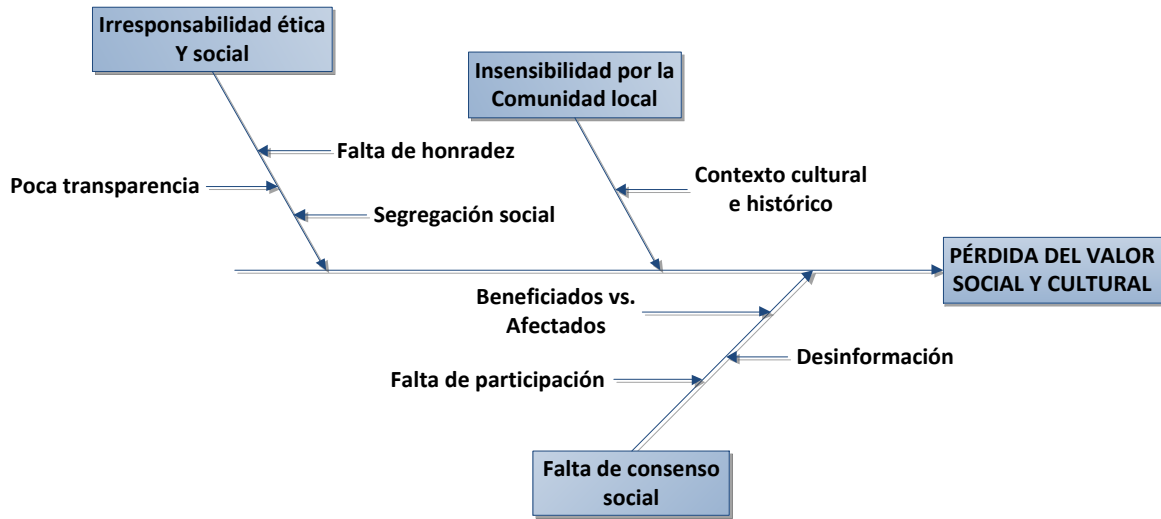


Figura 27. Diagrama Causa-Efecto. Valor Social y Cultural

De las causas que afectan la pérdida del valor social y cultural, a fin de minimizar o anular el o los impactos se pueden identificar los siguientes posibles criterios de evaluación de las alternativas:

- Integración del proyecto en la sociedad
- Consideración e integración de los sectores de la sociedad
- Respeto a la cultura y estética del lugar
- Participación e información ciudadana

• GESTIÓN Y FINANCIAMIENTO

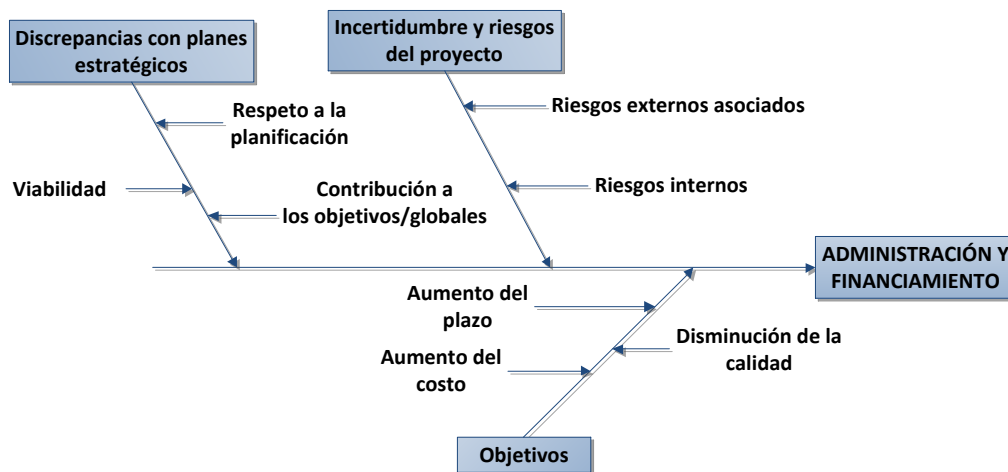


Figura 28. Diagrama Causa-Efecto. Gestión y Financiamiento

De las causas que afectan a los procesos de gestión y financiamiento, a fin de minimizar o anular el o los impactos se pueden identificar los siguientes posibles criterios de evaluación de las alternativas:

- Estándares de dirección integrada
- Gestión de riesgos
- Contribución a los objetivos locales y globales de la organización

Con la información recopilada en el ejercicio de la técnica de diagramas Causa-Efecto se ha construido la cuarta lista de criterios (Tabla 24) y dimensiones, que será la última entrada para la elaboración de la *Estructura Preliminar De Criterios*.

Tabla 24. Lista de criterios obtenidos de Diagramas Causa-Efecto

| CRITERIOS  |
|--|
| Emisiones de Gases de Invernadero en el proceso                    |
| Calidad de los Residuos  |
| Emisiones de SO <sub>2</sub> y NO <sub>x</sub>                     |
| Localización   |
| Impacto Ambiental  |
| Gestión de Residuos  |
| Tratamiento de Aguas Residuales                                    |
| Emisiones solidas a la atmósfera                                   |
| Planificación y control de los residuos producidos                 |
| Ahorro y gestión de los recursos materiales                        |
| Ahorro y gestión del consumo de agua                               |
| Ahorro y eficiencia energética                                     |
| Gestión de calidad v. g. ISO 9001                                  |
| Gestión medioambiental v. g. ISO 14001                             |
| Diseño preventivo ante riesgos medioambientales                    |
| Gestión de Proveedores   |
| Localización: Aspectos sísmicos                                    |
| Nivel de Ruido y Vibraciones                                       |
| Seguridad y salud de trabajadores y vecinos                        |
| Formación e información del personal                               |
| Nivel de participación de la ciudadanía                            |
| Nivel de inversión en la comunidad                                 |
| Seguridad y salud de los trabajadores                              |
| Seguridad y salud de los visitantes y personal externo             |
| Plan de gestión de riesgos   |
| Integración del proyecto en la sociedad                            |
| Consideración e integración de los sectores de la sociedad         |
| Respeto a la cultura y estética del lugar                          |
| Participación e información ciudadana                              |
| Estándares de dirección integrada                                  |
| Gestión de riesgos   |
| Contribución a los objetivos locales y globales de la organización |

|  |
|--|
| Estándares de dirección integrada                                  |
| Gestión de riesgos   |
| Contribución a los objetivos locales y globales de la organización |

Tabla 25. Dimensión de los criterios. Diagramas Causa-Efecto

| DIMENSIÓN                                |
|--|
| Cambio climático                         |
| Biodiversidad                            |
| Uso de recursos y generación de residuos |
| Gestión de riesgos medioambientales      |
| Bienestar de la comunidad                |
| Seguridad                                |
| Valor social y cultural                  |
| Gestión y financiación                   |

Si bien puede resultar en un proceso largo, el análisis Causa-Efecto es una herramienta útil pues permite identificar los posibles orígenes de fallos en las alternativas, esto además de ayudar a identificar los criterios de evaluación, puede llegar a brindar la oportunidad de encontrar oportunidades de mejora cuando se planteen las alternativas o en su defecto ayudar a crear mejores requisiciones de opciones de solución a una problemática determinada.

#### PONDERACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Como se describe en la propuesta el siguiente paso es la obtención de una *Estructura Preliminar de Criterios*, para ello inicialmente se conjugaran las dimensiones de los criterios identificados a fin de mostrar los ejes principales de evaluación identificados para el caso particular de aplicación. La Figura 29 presenta las dimensiones de evaluación preliminar.

Las listas de criterios sirven como entrada al proceso de agrupación de los criterios identificados respecto a la dimensión del Desarrollo Sustentable a la que pertenecen, luego de este proceso se obtendrá una primera aproximación a la lista definitiva de criterios de evaluación, mostrada en la Figura 30 Como es de notar se han identificado un gran número de criterios, por los que la propuesta aquí presentada sugiere el siguiente:

Utilizar el principio de Pareto para identificar los criterios de mayor importancia en el proceso de evaluación de las alternativas, este principio pudiera aplicarse a esta problemática obteniendo lo siguiente el 80% de los objetivos de sustentabilidad pudieran lograrse con la evaluación del 20% de los criterios de sustentabilidad. De esta manera pudiera construirse un sistema de criterios manejable en cuanto a tamaño y claridad de la información.



Para lo anterior se parte de los siguientes supuestos para este particular caso de estudio:

1. El proceso decisorio es un proceso Grupal.
2. La percepción de importancia de los distintos criterios de evaluación difiere de participante a participante.

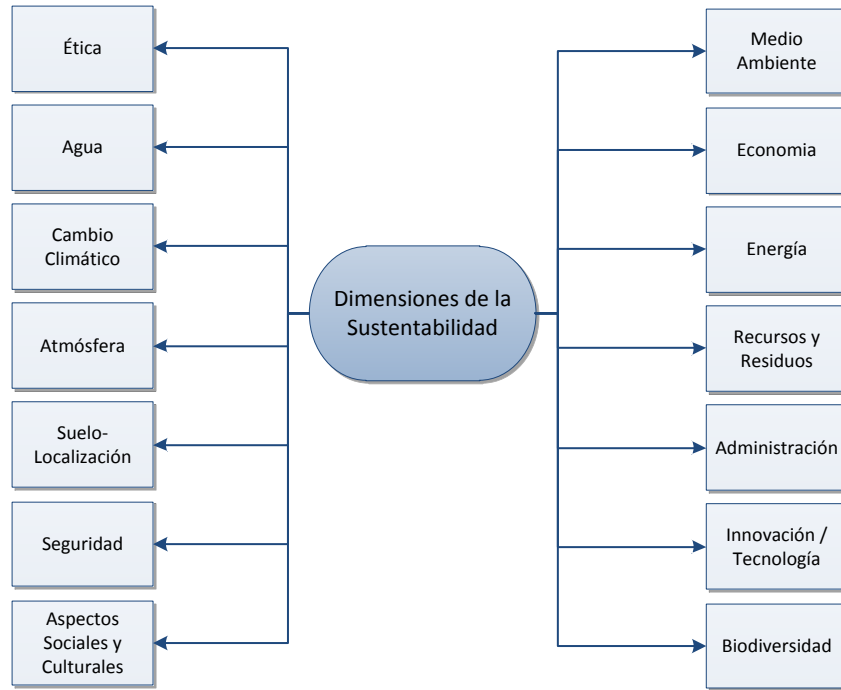


Figura 29. Dimensiones de sustentabilidad para el caso de estudio

Considerando la anterior se ha determinado que se establecerán los juicios de preferencia o grados de importancia dictados por tres grupos de actores distintos, para ello se utilizará la técnica de análisis multicriterio AHP, en virtud de que una de sus grandes ventajas frente a otras metodologías como PROMETHEE es que cuenta con un módulo especialmente diseñado para la asignación de pesos al sistema de alternativas, o en este caso criterios.

AHP sugiere para la asignación de pesos o ponderación la construcción de una matriz de comparación por pares entre los distintos criterios, algunos autores [128] sugieren que este proceso es una desventaja debido al tiempo requerido para su elaboración además del tratamiento matemático que se da a la información proporcionada por los participantes. Para solventar esto esta propuesta sugiere el uso del *software Expert Choice 11*, a fin de agilizar el proceso y evitar pérdidas de información causadas por errores en el cálculo por parte del analista, considerando la gran cantidad de información que se pretende manejar.

La construcción de la matriz de pesos puede describirse de la siguiente forma: la matriz A recoge las comparaciones pareadas de los criterios propuestos elementos de un conjunto finito

$C = c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$  , se dice entonces que el elemento  $c_{12}$  representa la importancia del criterio 1 sobre el criterio 2.

$$(C) = \begin{matrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{matrix}, c_{ii} = 1, c_{ji} = \frac{1}{c_{ij}}, c_{ij} \neq 0$$

Saaty [124] propone en su modelo una escala de nueve valores (Tabla 8, pág. 67) para reflejar la importancia relativa comparando una alternativa frente a otra, o en este caso la importancia a juicio de los participantes de un criterio a otro, en ocasiones es difícil para la mente humana otorgar un valor a número concreto al grado de importancia que representa un criterio. Para hacer frente a este hecho la propuesta desarrollada en esta tesis hace uso de una herramienta incluida en el *software Expert Choice*, la cual permite identificar la importancia de una comparación de pares por medio de una escala mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 26. Escalas de importancia en *Expert Choice*

| Escala Numérica | Definición  | Escala Verbal      | Escala de comparación grafica   |
|-----------------|---|--------------------|---|
| 1               | Igual importancia   | <i>Equal</i>       | Permite establecer el grado de importancia por medio de un sistema dinámico de barras |
| 3               | Diferencia moderada en la importancia entre uno y otro criterio | <i>Moderate</i>    |   |
| 5               | Importancia fuerte  | <i>Strong</i>      |   |
| 7               | Importancia muy fuerte  | <i>Very strong</i> |   |
| 9               | Importancia absoluta  | <i>Extreme</i>     |   |
| 2,4,6,8         | Juicios intermedios entre las dos opciones adyacentes           |                    |   |

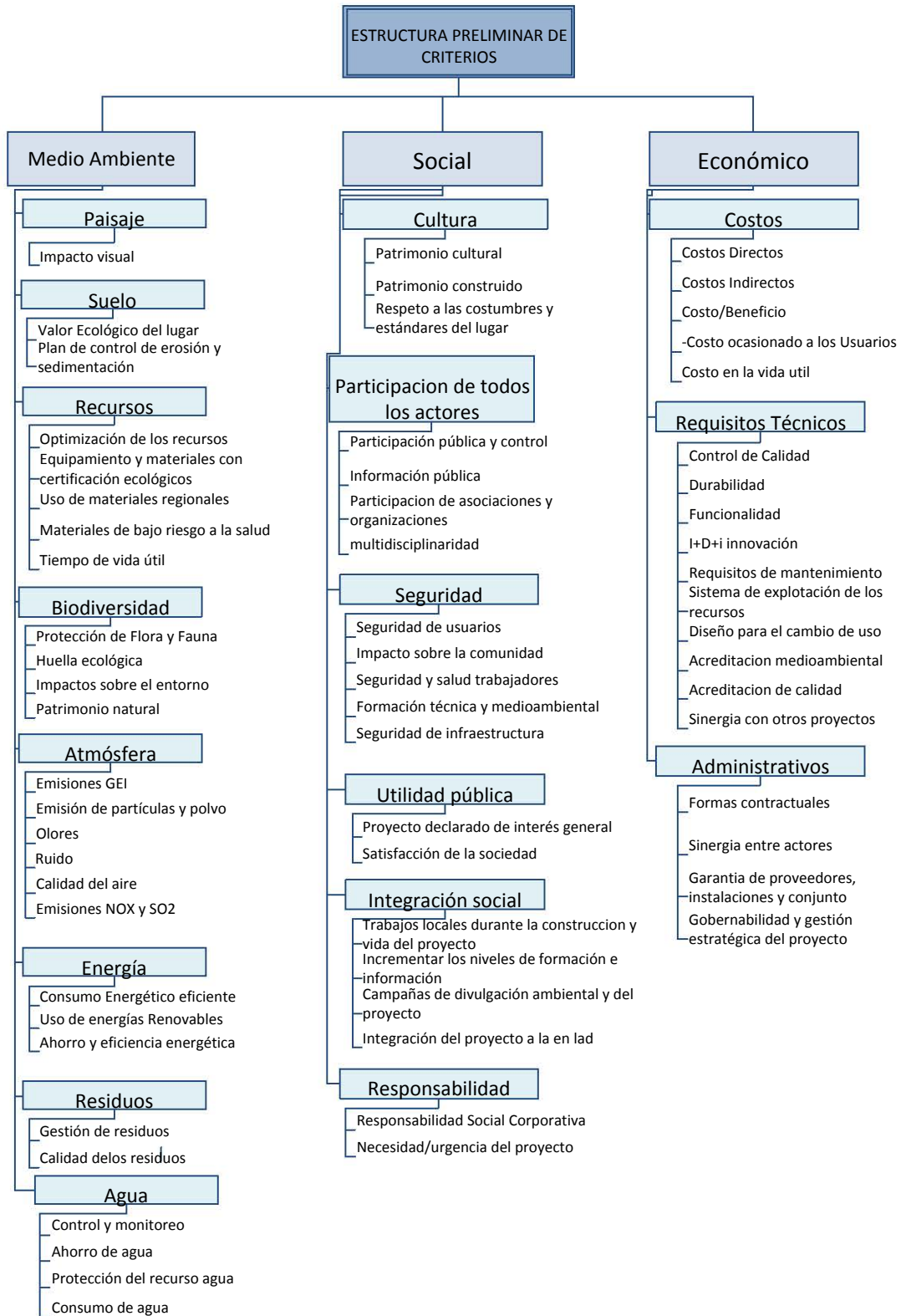


Figura 30. Estructura preliminar de criterios

Para la matriz de comparación por pares se han identificado los siguientes criterios:

Tabla 27. Lista preliminar de criterios

| DIMENSION                          |                                    | CRITERIO   | ID  |
|------------------------------------|------------------------------------|--|-----|
| Económico                          | Costos                             | Costos Directos  | C1  |
|                                    |                                    | Costos Indirectos  | C2  |
|                                    |                                    | Costo/Beneficio  | C3  |
|                                    |                                    | -Costo ocasionado a los Usuarios                             | C4  |
|                                    |                                    | Costo en la vida útil  | C5  |
|                                    | Requisitos Técnicos                | Control de Calidad   | C6  |
|                                    |                                    | Durabilidad  | C7  |
|                                    |                                    | Funcionalidad  | C8  |
|                                    |                                    | I+D+i innovación   | C9  |
|                                    |                                    | Requisitos de mantenimiento                                  | C10 |
|                                    |                                    | Sistema de explotación de los recursos                       | C11 |
|                                    |                                    | Diseño para el cambio de uso                                 | C12 |
|                                    |                                    | Acreditación medioambiental                                  | C13 |
|                                    |                                    | Acreditación de calidad                                      | C14 |
|                                    |                                    | Sinergia con otros proyectos                                 | C15 |
|                                    | Administrativos                    | Formas contractuales   | C16 |
|                                    |                                    | Sinergia entre actores                                       | C17 |
|                                    |                                    | Garantía de proveedores, instalaciones y conjunto            | C18 |
|                                    |                                    | Gobernabilidad y gestión estratégica del proyecto            | C19 |
| Social                             | Cultura                            | Patrimonio cultural  | C20 |
|                                    |                                    | Patrimonio construido  | C21 |
|                                    |                                    | Respeto a las costumbres y estándares del lugar              | C22 |
|                                    | Participación de todos los actores | Participación pública y control                              | C23 |
|                                    |                                    | Información pública  | C24 |
|                                    |                                    | Participación de asociaciones y organizaciones               | C25 |
|                                    |                                    | Multidisciplinaridad   | C26 |
|                                    | Seguridad                          | Seguridad de usuarios  | C27 |
|                                    |                                    | Impacto sobre la comunidad                                   | C28 |
|                                    |                                    | Seguridad y salud trabajadores                               | C29 |
|                                    |                                    | Formación técnica y medioambiental                           | C30 |
|                                    |                                    | Seguridad de infraestructura                                 | C31 |
|                                    | Utilidad pública                   | Proyecto declarado de interés general                        | C32 |
|                                    |                                    | Satisfacción de la sociedad                                  | C33 |
|                                    | Integración social                 | Incrementar los niveles de formación e información           | C34 |
|                                    |                                    | Campañas de divulgación ambiental y del proyecto             | C35 |
|                                    |                                    | Trabajos locales durante la construcción y vida del proyecto | C36 |
|                                    |                                    | Integración del proyecto en la comunidad                     | C37 |
|                                    | Responsabilidad                    | Necesidad/urgencia del proyecto                              | C38 |
| Responsabilidad Social Corporativa |                                    | C39  |     |
| Medio Ambiente                     | Paisaje                            | Impacto visual   | C40 |
|                                    | Suelo                              | Valor Ecológico del lugar                                    | C41 |
|                                    |                                    | Plan de control de erosión y sedimentación                   | C42 |
|                                    | Recursos                           | Optimización de los recursos                                 | C43 |
|                                    |                                    | Equipamiento y materiales con certificación ecológicos       | C44 |
|                                    |                                    | Uso de materiales regionales                                 | C45 |
|                                    |                                    | Materiales de bajo riesgo a la salud                         | C46 |
|                                    |                                    | Tiempo de vida útil  | C47 |
|                                    | Biodiversidad                      | Protección de Flora y Fauna                                  | C48 |
|                                    |                                    | Huella ecológica   | C49 |
|                                    |                                    | Impactos sobre el entorno                                    | C50 |
|                                    |                                    | Patrimonio natural   | C51 |
|                                    | Atmósfera                          | Emisiones GEI  | C52 |

|  |          |   |     |
|--|----------|---|-----|
|  |          | Emisión de partículas y polvo               | C53 |
|  |          | Olores                                      | C54 |
|  |          | Ruido                                       | C55 |
|  |          | Calidad del aire                            | C56 |
|  |          | Emisiones NO <sub>x</sub> y SO <sub>2</sub> | C57 |
|  | Energía  | Consumo Energético eficiente                | C58 |
|  |          | Uso de energías Renovables                  | C59 |
|  |          | Ahorro y eficiencia energética              | C60 |
|  | Residuos | Gestión de residuos                         | C61 |
|  |          | Calidad delos residuos                      | C62 |
|  | Agua     | Control y monitoreo                         | C63 |
|  |          | Ahorro de agua                              | C64 |
|  |          | Consumo de agua                             | C65 |

Estos criterios recibirán el tratamiento antes descrito con la ayuda del *software Expert Choice*, el procedimiento arrojó los siguientes resultados:

### PESOS PARCIALES DE LOS CRITERIOS

Se contó con la participación de 3 grupos de participantes, de quienes se recopiló la información mediante una dinámica grupal liderada por un moderador (el autor), obteniendo la matriz descrita en la Tabla 28, estos fueron conjuntados a fin de obtener los juicios de importancia que los participantes percibían al hacer una comparación por pares entre los 65 criterios propuestos luego de ejecutar las técnicas antes descritas, el análisis pareado originó un total de 2080 juicios parciales pareados, es necesario destacar en este punto que la cantidad de información generada en el caso de estudio se debe a dos aspectos fundamentales:

- El gran número de criterios propuestos (65), debido a la generalidad del caso de estudio, para casos de aplicación práctica de la metodología se considera que generalmente el número de criterios sería menor en función de que no todos los criterios sugeridos en este ejercicio son aplicables en un sentido general. Mientras más se delimita la problemática menor número de criterios serán considerados para la lista preliminar y mayor agilidad existirá en el proceso de asignación de importancia.
- La construcción de un caso práctico de aplicación en esta tesis se fundamentó en la necesidad de dar una mayor visibilidad de la aplicación de la propuesta, y considerando la dificultad que muchas veces una persona puede afrontar al dar un juicio de importancia entre dos alternativas, el caso de estudio intenta mostrar la dificultad ante la que se presenta un grupo decisor al intentar contrastar varias opiniones distintas desde distintos enfoques para elegir uno u otra alternativa, sobre todo cuando varios criterios siguen direcciones opuestas como es el caso del Desarrollo Sustentable donde el objetivo es alcanzar el equilibrio de sus 3 ejes fundamentales: medioambiente, economía y sociedad.









Pese a la gran cantidad de comparaciones por pares obtenidos del grupo de estudiantes participantes, se consideró la necesidad de modelar la aplicación de la propuesta con un acercamiento mayor a las posibles necesidades de un proceso de decisión. Cuando se habla del Desarrollo Sustentable se habla también de un proceso participativo, en el que los distintos enfoques de una problemática están representados por distintos grupos de decisión, qué como es natural tienen distintos juicios de valor cuando de asignar importancia a los criterios de evaluación se trata. Lo anterior fue motivante para generar una segunda matriz de juicios de importancia en relación a la comparación de pares, debido a la gran cantidad de tiempo que esto implicaba, se diseñó un modelo de simulación utilizando el método Montecarlo.

La Tabla 30 muestra la matriz generada en la simulación, para esta simulación se utilizó como base la primera matriz obtenida del juicio del grupo de participantes, se diseñó la simulación de modo tal que la variación aleatoria de cada juicio este en el intervalo de  $\pm 30\%$  (ver Tabla 29), para la simulación se utilizó una hoja de cálculo. Considerando las 2080 comparaciones de pares de criterios adicionales obtenidas de la simulación el análisis de *Ponderación de Criterios* se realizó con 4160 juicios en total.

Los valores obtenidos en ambas matrices fueron alimentados *al software Expert Choice 11*, para su análisis individual y conjunto, los resultados del análisis es mostrado en la tabla siguiente:

Tabla 31. Importancia cuantificada de los criterios preliminares

| CRITERIO | IMPORTANCIA | CRITERIO | IMPORTANCIA | CRITERIO     | IMPORTANCIA  |
|----------|-------------|----------|-------------|--------------|--------------|
| C1       | 0,009       | C23      | 0,007       | C45          | 0,012        |
| C2       | 0,004       | C24      | 0,007       | C46          | 0,022        |
| C3       | 0,022       | C25      | 0,015       | C47          | 0,016        |
| C4       | 0,003       | C26      | 0,011       | C48          | 0,026        |
| C5       | 0,013       | C27      | 0,023       | C49          | 0,011        |
| C6       | 0,013       | C28      | 0,027       | C50          | 0,019        |
| C7       | 0,016       | C29      | 0,025       | C51          | 0,024        |
| C8       | 0,009       | C30      | 0,009       | C52          | 0,026        |
| C9       | 0,014       | C31      | 0,023       | C53          | 0,007        |
| C10      | 0,01        | C32      | 0,007       | C54          | 0,006        |
| C11      | 0,012       | C33      | 0,012       | C55          | 0,01         |
| C12      | 0,004       | C34      | 0,014       | C56          | 0,031        |
| C13      | 0,011       | C35      | 0,012       | C57          | 0,02         |
| C14      | 0,013       | C36      | 0,013       | C58          | 0,022        |
| C15      | 0,015       | C37      | 0,018       | C59          | 0,024        |
| C16      | 0,015       | C38      | 0,007       | C60          | 0,021        |
| C17      | 0,012       | C39      | 0,011       | C61          | 0,027        |
| C18      | 0,011       | C40      | 0,011       | C62          | 0,012        |
| C19      | 0,02        | C41      | 0,022       | C63          | 0,01         |
| C20      | 0,025       | C42      | 0,007       | C64          | 0,027        |
| C21      | 0,011       | C43      | 0,029       | C65          | 0,029        |
| C22      | 0,012       | C44      | 0,01        | <b>TOTAL</b> | <b>0,996</b> |

Como puede verse, algunos de los criterios considerados en la lista preliminar de criterios (Tabla 27) tienen un grado de importancia muy bajo, por ello se propone en este caso utilizar una adaptación del análisis de Pareto para identificar así los criterios de evaluación que producen cuya

suma de importancias individuales equivalga al 80% de la importancia del sistema de criterios. El resultado arrojado de este análisis es resumido en la Tabla 32. Finalmente se evaluó la importancia asociada con cada pilar del desarrollo sustentable, a fin de visualizar de forma clara la distribución de importancia de los criterios seleccionados.

Tabla 32. Sistema de criterios y ponderaciones

|    |  |       |                |
|----|--|-------|----------------|
| 3  | Costo/Beneficio  | 2,77% | ECONÓMICO      |
| 5  | Costo en la vida útil  | 1,64% |                |
| 6  | Control de Calidad   | 1,64% |                |
| 7  | Durabilidad  | 2,02% |                |
| 9  | I+D+i innovación   | 1,77% |                |
| 11 | Sistema de explotación de los recursos                       | 1,51% |                |
| 14 | Acreditación de calidad                                      | 1,64% |                |
| 15 | Sinergia con otros proyectos                                 | 1,89% |                |
| 16 | Formas contractuales   | 1,89% |                |
| 17 | Sinergia entre actores                                       | 1,51% |                |
| 19 | Gobernabilidad y gestión estratégica del proyecto            | 2,52% | <b>20,81%</b>  |
| 20 | Patrimonio cultural  | 3,15% | SOCIAL         |
| 22 | Respeto a las costumbres y estándares del lugar              | 1,51% |                |
| 25 | Participación de asociaciones y organizaciones               | 1,89% |                |
| 27 | Seguridad de usuarios  | 2,90% |                |
| 28 | Impacto sobre la comunidad                                   | 3,40% |                |
| 29 | Seguridad y salud trabajadores                               | 3,15% |                |
| 31 | Seguridad de infraestructura                                 | 2,90% |                |
| 33 | Satisfacción de la sociedad                                  | 1,51% |                |
| 34 | Incrementar los niveles de formación e información           | 1,77% |                |
| 35 | Campañas de divulgación ambiental y del proyecto             | 1,51% |                |
| 36 | Trabajos locales durante la construcción y vida del proyecto | 1,64% | <b>27,62%</b>  |
| 37 | Integración del proyecto en la comunidad                     | 2,27% |                |
| 45 | Uso de materiales regionales                                 | 1,51% | MEDIOAMBIENTAL |
| 62 | Calidad de los residuos                                      | 1,51% |                |
| 47 | Tiempo de vida útil  | 2,02% |                |
| 50 | Impactos sobre el entorno                                    | 2,40% |                |
| 57 | Emisiones NOX y SO2  | 2,52% |                |
| 60 | Ahorro y eficiencia energética                               | 2,65% |                |
| 41 | Valor Ecológico del lugar                                    | 2,77% |                |
| 46 | Materiales de bajo riesgo a la salud                         | 2,77% |                |
| 58 | Consumo Energético eficiente                                 | 2,77% |                |
| 51 | Patrimonio natural   | 3,03% |                |
| 59 | Uso de energías Renovables                                   | 3,03% |                |
| 48 | Protección de Flora y Fauna                                  | 3,28% |                |
| 52 | Emisiones GEI  | 3,28% |                |
| 61 | Gestión de residuos  | 3,40% |                |
| 64 | Ahorro de agua   | 3,40% |                |
| 43 | Optimización de los recursos                                 | 3,66% |                |
| 65 | Consumo de agua  | 3,66% |                |
| 56 | Calidad del aire   | 3,91% |                |

Si bien puede verse una inclinación de los pesos hacia el eje medioambiental, esto era de esperarse considerando que en la metodología que se ha seguido hasta el momento, no se han considerado aún los criterios de mayor difusión a la hora de evaluar alternativas; los criterios técnicos.

En los siguientes apartados se describen siguientes pasos propuestos en el esquema metodológico objeto de la presente tesis, de la misma manera que se ha venido haciendo, se irá desarrollando la ejemplificación para el caso de estudio.

---

## GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS Y ESCENARIOS

El siguiente punto de la presente propuesta metodológica es la creación y/o modificación de alternativas de planeación que permitan dar solución a la problemática particular frente a la que se encuentre la organización.

En el párrafo anterior se mencionan dos puntos; creación y modificación, a continuación se describe las implicaciones para esta propuesta de cada uno de ellos:

---

### GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS

El objetivo primordial de un proceso decisorio es solventar una problemática particular de la organización, como ya se menciona en el capítulo II, existe una variedad de posibilidades respecto al tipo de decisión que se necesita, puede ser programada, inmediata, urgente, estratégica, por citar algunas, sin embargo las posibilidades de solución inicialmente pueden considerarse infinitas cuando no se han definido aún los parámetros de la solución al problema, es necesario entonces limitar el conjunto de alternativas elegibles del conjunto de las posibles.

Generar alternativas de decisión es más común cuando la decisión tiene características de no programada, bajo incertidumbre o bajo riesgo. La selección de los criterios mediante los cuales se pretende evaluar la decisión, es de utilidad cuando se modelan las posibles decisiones, es necesario mencionar que en enfoque metodológico propuesto se considera un conjunto finito de alternativas.

El objetivo del proceso de planeación consiste básicamente en anticiparse a los impactos de una problemática particular, considerando para ello la creación de escenarios, los cuales son representaciones del estado futuro considerando rutas de acción para llegar a este. Para construcción de estos escenarios la propuesta aquí presentada propone la discusión de sus características, criterios de medición e impactos (sean positivos o negativos) en procesos grupales donde los juicios de los actores involucrados sean reflejados y contrastados a fin de llegar a una modelación que aún bajo incertidumbre considere la mayor cantidad y calidad de información disponible. Cabe anotar que aun cuando éstos son elemento clave del proceso decisorio el alcance de esta tesis y su propuesta metodológica se centra en la evaluación bajo las premisas del desarrollo sustentable de alternativas o rutas de acción previamente planteadas como pueden ser selección de proyectos, alternativas de inversión, procesos, etc.

MODIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Como ya se mencionó un proceso decisorio puede centrarse directamente a la selección o jerarquización de alternativas preestablecidas sin embargo el desarrollo de la fase de selección y ponderación de los criterios de evaluación puede llegar a ser una pieza clave al momento de delimitar el conjunto finito de alternativas, pues gestiona el conocimiento integral de las implicaciones y características a evaluar, pudiendo ser el caso la modificación de las características de las alternativas.

Puede entonces considerarse la posibilidad de crear filtros para la preselección de alternativas, estructuración de las rutas de acción, validación de los criterios de valoración, etc.

Una vez conseguido un conjunto finito de alternativas a evaluar bajo los criterios preseleccionados que mejor reflejen la intención de la organización es necesario crear escenarios futuros, donde se reflejen las implicaciones al rendimiento general de cada una de las alternativas a fin de brindar al centro decisor mayor criticidad para elegir una u otra alternativa.

Se propone la generación de al menos 3 escenarios; futuro adverso, posible y deseable, para esto es necesario contar con la información respecto a la valuación de cada alternativa respecto a los criterios de selección en cada escenario propuesto. La Figura 31 Figura 8 esquematiza este proceso.

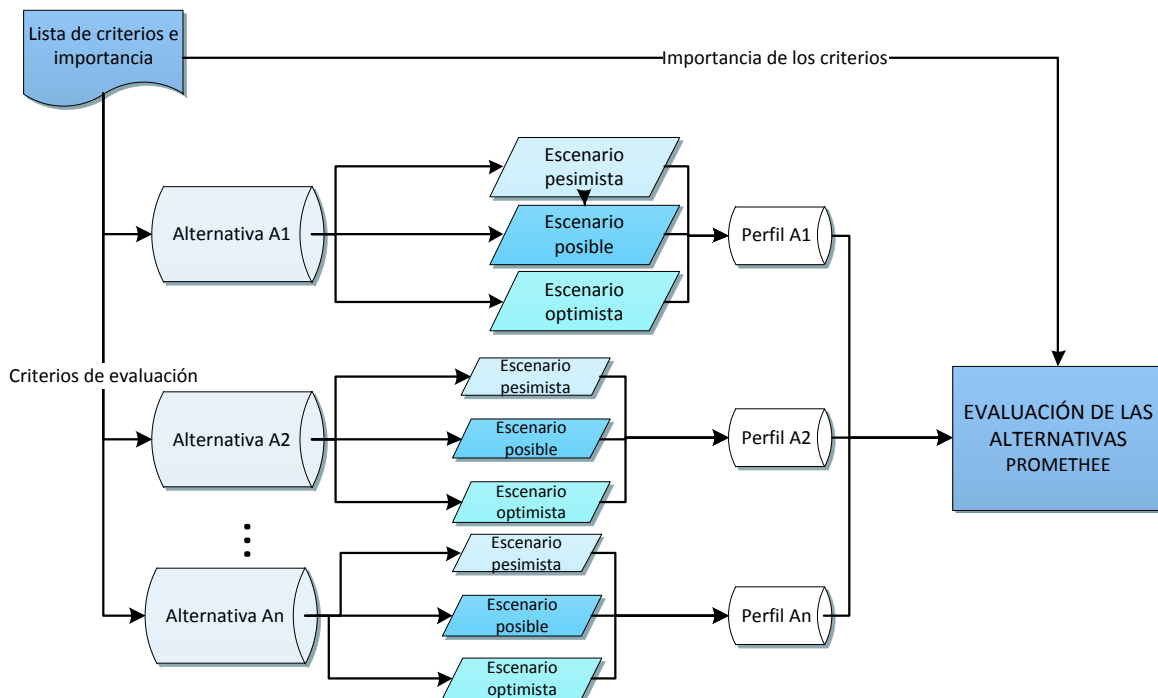


Figura 31. Generación de Alternativas y Escenarios

## EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En esta tercera fase de la metodología propuesta el propósito es obtener una estructura jerárquica de las alternativas, para esto se plantea la utilización de las técnicas PROMETHEE I que puede admitir algunos “empates” y PROMETHEE II en que ésta situación se evita. Esta técnica tiene la bondad de poder ser utilizado para evaluar decisiones con gran cantidad de información, siguiendo la línea establecida en la presente metodología que utilizará una herramienta informática para facilitar el manejo de la información.

El *software Decision Lab 2000*, desarrollado por *Visual Decision* permite además hacer un análisis de sensibilidad dinámico, pues cuenta con una opción de “pesos yantes” o *walking weights* esto permite modificar la importancia de los criterios para hallar los puntos de conflicto. El *software* incluye en sus herramientas la generación del plano GAIA, lo que favorece la visualización y comprensión de cómo interactúan las alternativas y criterios.

Cada alternativa debe ser caracterizada en función de los valores que cada criterio. Estos valores se deben obtener para tres futuros distintos (escenarios), un pesimista, un optimista y uno posible. La información obtenida sumada a la información de importancia de cada criterio será alimentada en la pantalla de entrada del *software Decisión Lab 2000*. El tipo de solución buscada con el uso de PROMETHEE es una jerarquización del conjunto de alternativas. Según Macharis *et al* [128] el método matemático empleado en esta técnica es relativamente fácil de entender por el decisor, pues la jerarquización de las alternativas se basa en la teoría de concordancia y discordancia, menciona además la ventaja de utilizar esta técnica para evaluar conjuntos de criterios cualitativos y cuantitativos a la vez.

Establecida la lista de criterios de evaluación, su importancia (ponderación), valores cualitativos y cuantitativos de los criterios para cada escenario, es fundamental asignar una tipología a la función de preferencia. Como se describe en el capítulo V, PROMETHEE distingue entre 6 tipos de funciones utiliza como argumento la diferencia entre los valores de  $d$  y  $q$  (Tabla 33). Estas funciones son conocidas como cuasi-criterios y pseudo-criterios, ya que en su definición analítica las primeras consideran un intervalo de indiferencia (en vez de un punto) y las segundas toman en cuenta un intervalo de “duda” entre la indiferencia y la preferencia. La Tabla 33 resume estas funciones. Considerando que:

$q$  es el límite de la indiferencia; es decir, es la desviación más grande que se considera insignificante por el tomador de decisiones.

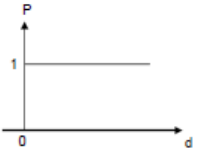
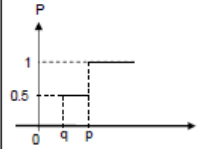
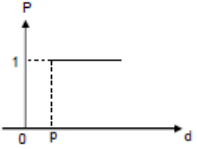
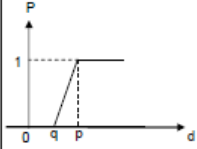
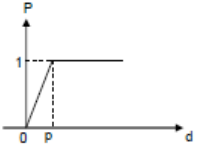
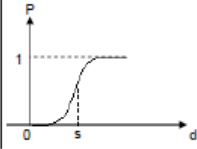
$p$  es el límite estricto de la preferencia; es decir, es la desviación más pequeña que sea considerada como suficiente para generar una preferencia amplia.

$s$  es una valor intermedio entre  $p$  y  $q$ , éste define el punto de inflexión de la función de preferencia y es utilizado únicamente para definir la función de preferencia de tipo gaussiano.

Es necesario entonces asignar a cada criterio: un tipo de función, el límite de indiferencia, y el límite estricto de preferencia. Esto es más ampliamente descrito en la segunda fase del caso de aplicación.

Las funciones de preferencia en esta metodología intentan modelar la intención del decisor ante determinado criterio. Variaciones pequeñas en los valores de calificación de un criterio, donde el rango de la escala es amplio, pudiera ser percibido como indiferente, pero si pensamos en la misma variación pero una reducción dl rango de la escala en la que son medidos, la variación dejará de ser indiferente al juicio del decisor.

Tabla 33. Funciones de preferencia PROMETHEE

| Tipo de función | Forma de función   | Definición   | Parámetros necesarios | Tipo de función | Forma de función  | Definición   | Parámetros necesarios |
|-----------------|--|--|-----------------------|-----------------|---|--|-----------------------|
| 1               |   | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$                               | --                    | 4               |   | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$             | p, q                  |
| 2               |   | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$                               | q                     | 5               |   | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$         | p, q                  |
| 3               |  | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$ | p                     | 6               |  | $P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{e^{\frac{d}{s}}}{1 + e^{\frac{d}{s}}} & d > 0 \end{cases}$ | s                     |

Fuente: Brans y Mareschal [117]

Los procesos decisorios son dinámicos regidos por la variabilidad del infinito número de relaciones existentes entre los componentes del entorno, en este marco de trabajo el tiempo de respuesta debe reducirse, sin caer en simplificar demasiado el proceso para evitar pérdida de información. Herramientas gráficas para el análisis de sensibilidad son en ocasiones más útiles que matrices de datos y de rendimientos de las alternativas. Además el uso de sistemas informáticos es la tónica para reducir tiempo que puede ser invertido en otras actividades que generen valor a la organización. La utilidad del vector  $\Psi$  de la herramienta GAIA es útil para lo antes mencionado, en la siguiente fase del caso de aplicación se describe su uso más gráficamente. Finalmente el esquema presentado en la Figura 32 representa esta fase del proceso.

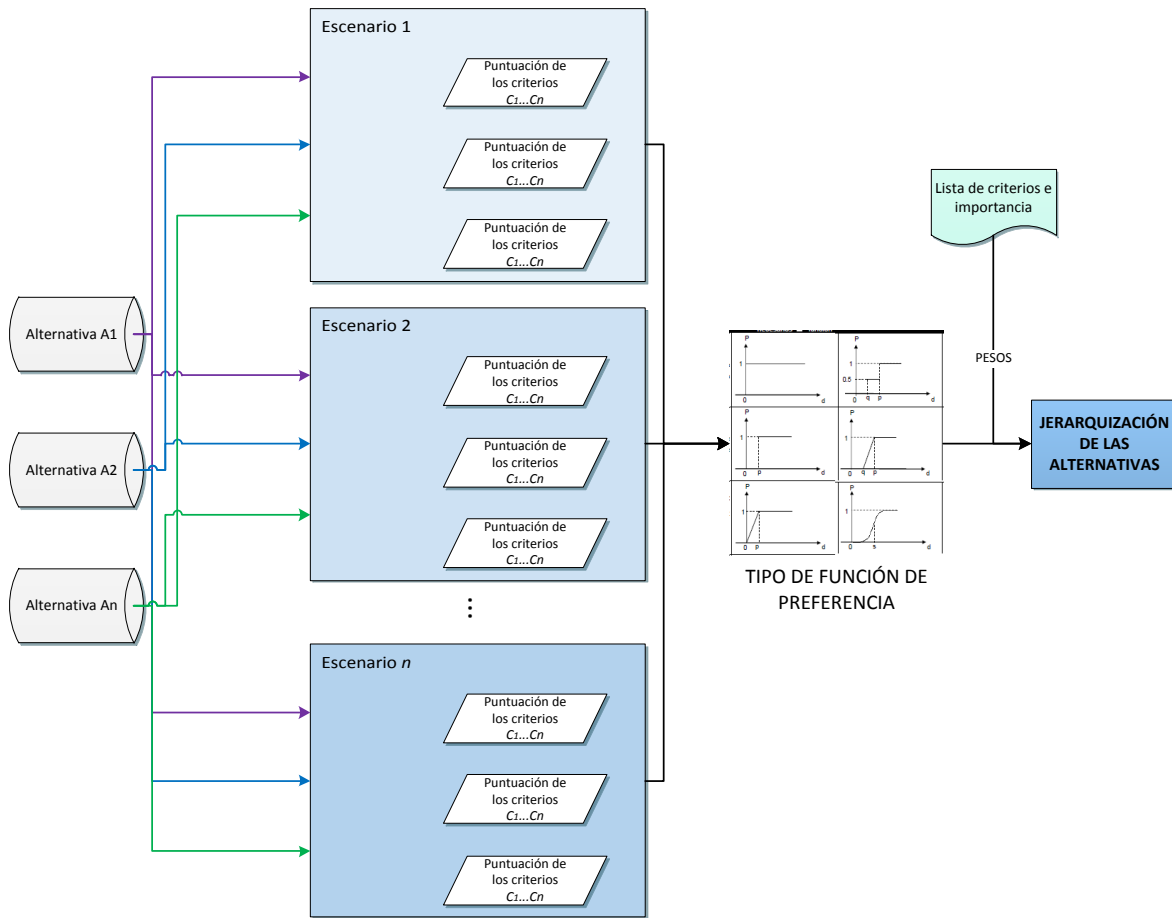


Figura 32. Fase de Evaluación de Alternativas

A continuación se describe desarrolla esta fase de la metodología propuesta aplicándola al caso de aplicación que se ha venido desarrollando a lo largo del presente capítulo.

## CASO DE APLICACIÓN

### EVALUACION DE LAS ALTERNATIVAS

Se considera un universo de tres alternativas de solución integrado por tres proyectos industriales de distintos giros, como se menciona en la descripción anterior del caso de estudio el objetivo es jerarquizar las alternativas pues no es posible encontrar un óptimo cuando los elementos comparados no son iguales en sus particulares rasgos, las características de las alternativas a someterse al proceso de evaluación son descritas a continuación:

**ALTERNATIVA A**

Se trata de un proyecto de inversión en el área agropecuaria destinado fundamentalmente a promover la creación y desarrollo de asociaciones de pequeños productores para comercializar sus productos en los mercados de las urbes próximas a su localización.

**ALTERNATIVA B**

El proyecto de inversión aquí presentado pretende los fondos para formar una empresa cuando fin es arrancar un servicio de consultoría de negocios para pequeñas y medianas empresas del sector productivo mediante la profesionalización de sus procesos de producción y estructura organizacional.

**ALTERNATIVA C**

Finalmente esta alternativa se presenta como un proyecto para desarrollar un negocio de ensamble y comercialización de soluciones energéticas y ornamentales amigables con el ambiente, negocio que inicialmente pretende ingresar con productos como jardines y azoteas ecológicas, y equipos de generación fotoeléctrica de uso doméstico.

Para la evaluación de las alternativas, en base a los resultados de la fase anterior de esta metodología se proponen los siguientes criterios de evaluación, considerando que, para cada una de las alternativas se han de evaluar valores para al menos tres escenarios; el pesimista, el posible y el optimista. Los criterios de evaluación deben poder ser aplicables para todas las alternativas para que la evaluación sea lo más objetiva posible, es necesario mencionar que al tratarse de un ejemplo bastante ambiguo no se profundiza en las particularidades propias de cada proyecto. Con estos antecedentes se propone identificar los criterios aplicables a la evaluación de las alternativas antes descritas:

Tabla 34. Identificación de la aplicabilidad de los criterios en la evaluación de las alternativas

| CRITERIOS |   | ALTERNATIVAS |   |   |
|-----------|---|--------------|---|---|
| ID        | DESCRIPCION                                       | A            | B | C |
| 3         | Costo/Beneficio                                   | X            | X | X |
| 5         | Costo en la vida útil                             | X            | X | X |
| 6         | Control de Calidad                                | X            | X | X |
| 7         | Durabilidad                                       | X            |   | X |
| 9         | I+D+i innovación                                  | X            | X | X |
| 11        | Sistema de explotación de los recursos            | X            |   | X |
| 14        | Acreditación de calidad                           | X            | X | X |
| 15        | Sinergia con otros proyectos                      | X            | X | X |
| 16        | Formas contractuales                              | X            | X | X |
| 17        | Sinergia entre actores                            | X            | X | X |
| 19        | Gobernabilidad y gestión estratégica del proyecto | X            | X | X |



| ID | DESCRIPCION  | A | B | C |
|----|--|---|---|---|
| 20 | Patrimonio cultural  | X | X |   |
| 22 | Respeto a las costumbres y estándares del lugar              | X | X | X |
| 25 | Participación de asociaciones y organizaciones               | X | X |   |
| 27 | Seguridad de usuarios  |   |   | X |
| 28 | Impacto sobre la comunidad                                   | X | X | X |
| 29 | Seguridad y salud trabajadores                               | X | X | X |
| 31 | Seguridad de infraestructura                                 |   |   | X |
| 33 | Satisfacción de la sociedad                                  | X | X | X |
| 34 | Incrementar los niveles de formación e información           | X | X | X |
| 35 | Campañas de divulgación ambiental y del proyecto             | X |   | X |
| 36 | Trabajos locales durante la construcción y vida del proyecto |   |   |   |
| 37 | Integración del proyecto en la comunidad                     | X |   |   |
|    |  |   |   |   |
| 45 | Uso de materiales regionales                                 | X |   | X |
| 62 | Calidad delos residuos                                       | X |   |   |
| 47 | Tiempo de vida útil  | X | X | X |
| 50 | Impactos sobre el entorno                                    | X |   | X |
| 57 | Emisiones NOX y SO2  |   |   | X |
| 60 | Ahorro y eficiencia energética                               | X | X | X |
| 41 | Valor Ecológico del lugar                                    | X |   | X |
| 46 | Materiales de bajo riesgo a la salud                         | X |   | X |
| 58 | Consumo Energético eficiente                                 | X |   | X |
| 51 | Patrimonio natural   | X |   |   |
| 59 | Uso de energías Renovables                                   |   |   | X |
| 48 | Protección de Flora y Fauna                                  | X |   |   |
| 52 | Emisiones GEI  | X | X |   |
| 61 | Gestión de residuos  | X | X | X |
| 64 | Ahorro de agua   | X | X | X |
| 43 | Optimización de los recursos                                 | X | X | X |
| 65 | Consumo de agua  | X |   | X |
| 56 | Calidad del aire   | X |   |   |

De la tabla anterior se desprende un banco de criterios aplicables para la evaluación integral del universo de alternativas, sin embargo es necesario normalizar el grado de importancia que el grupo decisorio previamente asigno y se calculó con la metodología aquí presentada para cada uno de los criterios, en la tabla siguiente se presenta dicha asignación de importancia.

Tabla 35. Criterios de evaluación y sus pesos correspondientes aplicables al proceso decisorio del caso de estudio

| CRITERIOS APLICABLES A LA EVALUACION DE LAS ALTERNATIVAS |  |             |
|--|--|-------------|
| ID   | DESCRIPCION  | IMPORTANCIA |
| 3  | Costo/Beneficio                                    | 6,34%       |
| 5  | Costo en la vida útil                              | 3,75%       |
| 6  | Control de Calidad                                 | 3,75%       |
| 9  | I+D+i innovación                                   | 4,03%       |
| 14   | Acreditación de calidad                            | 3,75%       |
| 15   | Sinergia con otros proyectos                       | 4,32%       |
| 16   | Formas contractuales                               | 4,32%       |
| 17   | Sinergia entre actores                             | 3,46%       |
|  |  |             |
| 22   | Respeto a las costumbres y estándares del lugar    | 3,46%       |
| 28   | Impacto sobre la comunidad                         | 7,78%       |
| 29   | Seguridad y salud trabajadores                     | 7,20%       |
| 33   | Satisfacción de la sociedad                        | 3,46%       |
| 34   | Incrementar los niveles de formación e información | 4,03%       |
|  |  |             |
| 47   | Tiempo de vida útil                                | 4,61%       |
| 60   | Ahorro y eficiencia energética                     | 6,05%       |
| 61   | Gestión de residuos                                | 7,78%       |
| 64   | Ahorro de agua                                     | 7,78%       |
| 43   | Optimización de los recursos                       | 8,36%       |
|  |  | 100,00%     |

Establecidos los criterios de evaluación para cada una de las Alternativas A, B y C, es necesario hallar en función de sus características los puntajes correspondientes de cada una de ellas para los tres escenarios planteados; el posible, el optimista y el pesimista, para ello se ha de evaluar el rendimiento y características propias de cada proyecto o alternativa, de igual manera como se describe en la propuesta es necesario asignar un tipo de función de preferencia que caracterice la intención del decisor ante determinado criterio; para esto se utilizarán las funciones propuestas por la metodología PROMETHEE resumidas en la Tabla 33.

#### CARACTERIZACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

A continuación se presentan las puntuaciones de cada alternativa para los distintos criterios de evaluación así como la asignación de una función de preferencia junto a sus respectivos puntajes de indiferencia o preferencia característicos de los umbrales de decisión.

CRITERIO: RELACION COSTO/BENEFICIO ID(3)

Se define como la relación existente entre el monto total de la inversión y los réditos económicos proyectados en un periodo de 3 años para este caso.

|                                 |               |   |                         |
|---------------------------------|---------------|---|-------------------------|
|                                 |               | OBJETIVO:<br>MINIMIZAR<br>P:0,3           | UNIDAD:<br>ADIMENSIONAL |
| ESCENARIO/ ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B                             | ALTERNATIVA C           |
| PESIMISTA (E1)                  | 0,538         | 0,75                                      | 0,65                    |
| POSIBLE (E2)                    | 0,344         | 0,613                                     | 0,48                    |
| OPTIMISTA (E3)                  | 0,32          | 0,533                                     | 0,416                   |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO III: CRITERIO CON PREFERENCIA LINEAL |                         |

CRITERIO: COSTO EN LA VIDA ÚTIL ID(5)

|                                 |               |   |                            |
|---------------------------------|---------------|---|----------------------------|
|                                 |               | OBJETIVO:<br>MINIMIZAR<br>P:10000         | UNIDAD:<br>MONETARIA (USD) |
| ESCENARIO/ ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B                             | ALTERNATIVA C              |
| PESIMISTA (E1)                  | 20000         | 23000                                     | 12000                      |
| POSIBLE (E2)                    | 14000         | 20000                                     | 10000                      |
| OPTIMISTA (E3)                  | 13000         | 17000                                     | 9000                       |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO III: CRITERIO CON PREFERENCIA LINEAL |                            |

CRITERIO: CONTROL DE CALIDAD ID(6)

|                                 |               |  |  |
|---------------------------------|---------------|--|--|
|                                 |               | <p>OBJETIVO:<br/>MAXIMIZAR<br/><math>q:0</math><br/><math>p:5</math></p> | <p>ESCALA:<br/>MUY BUENO<br/>BUENO<br/>REGULAR<br/>MALO<br/>MUY MALO</p> |
| ESCENARIO/ ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B  | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | REGULAR       | BUENO  | REGULAR  |
| POSIBLE (E2)                    | BUENO         | BUENO  | BUENO  |
| OPTIMISTA (E3)                  | BUENO         | MUY BUENO  | BUENO  |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO IV: CRITERIO POR NIVELES  |  |

CRITERIO: GRADO DE I+D+I INNOVACIÓN ID(9)

|                                 |               |  |  |
|---------------------------------|---------------|--|--|
|                                 |               | <p>OBJETIVO:<br/>MAXIMIZAR<br/><math>q:0</math><br/><math>p:5</math></p> | <p>ESCALA:<br/>MUY ALTO<br/>ALTO<br/>MEDIO<br/>BAJO<br/>MUY BAJO</p> |
| ESCENARIO/ ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B  | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | MUY BAJO      | MEDIO  | ALTO   |
| POSIBLE (E2)                    | BAJO          | ALTO   | ALTO   |
| OPTIMISTA (E3)                  | MEDIO         | ALTO   | MUY ALTO   |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO IV: CRITERIO POR NIVELES  |  |

CRITERIO: CAPACIDAD DE ACREDITACIÓN DE CALIDAD ID(14)

|                                 |               |                                 |                       |
|---------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------|
|                                 |               |                                 |                       |
|                                 |               | OBJETIVO:<br>MAXIMIZAR<br>$q:0$ | ESCALA:<br>DICOTÓMICA |
| ESCENARIO/ ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B                   | ALTERNATIVA C         |
| PESIMISTA (E1)                  | NO            | NO                              | SI                    |
| POSIBLE (E2)                    | SI            | SI                              | SI                    |
| OPTIMISTA (E3)                  | SI            | SI                              | SI                    |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO II: CRITERIO U SHAPE       |                       |

CRITERIO: GRADO DE SINERGIA CON OTROS PROYECTOS ID(15)

|                                 |               |  |  |
|---------------------------------|---------------|--|--|
|                                 |               |  |  |
|                                 |               | OBJETIVO:<br>MAXIMIZAR<br>$q:0$<br>$p:5$ | ESCALA:<br>MUY ALTO<br>ALTO<br>MEDIO<br>BAJO<br>MUY BAJO |
| ESCENARIO/ ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B                            | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | MUY BAJO      | MEDIO                                    | BAJO   |
| POSIBLE (E2)                    | MEDIO         | MEDIO                                    | MEDIO  |
| OPTIMISTA (E3)                  | ALTO          | MEDIO                                    | ALTO   |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO IV: CRITERIO POR NIVELES            |  |

CRITERIO: BENEFICIO SOCIAL DE LAS FORMAS CONTRACTUALES ID(16)

|                                 |               |  |  |
|---------------------------------|---------------|--|--|
|                                 |               |  |  |
|                                 |               | OBJETIVO:<br>MAXIMIZAR<br>$q:0$<br>$p:5$ | ESCALA:<br>MUY ALTO<br>ALTO<br>MEDIO<br>BAJO<br>MUY BAJO |
| ESCENARIO/ ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B                            | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | MEDIO         | MEDIO                                    | BAJO   |
| POSIBLE (E2)                    | ALTO          | MEDIO                                    | MEDIO  |
| OPTIMISTA (E3)                  | MUY ALTO      | ALTO                                     | MEDIO  |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO IV: CRITERIO POR NIVELES            |  |

CRITERIO: GRADO DE SINERGIA ENTRE ACTORES ID(17)

|                                 |               |  |  |
|---------------------------------|---------------|--|--|
|                                 |               |  |  |
|                                 |               | OBJETIVO:<br>MAXIMIZAR<br>$q:0$<br>$p:5$ | ESCALA:<br>MUY ALTO<br>ALTO<br>MEDIO<br>BAJO<br>MUY BAJO |
| ESCENARIO/ ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B                            | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | MEDIO         | ALTO                                     | MEDIO  |
| POSIBLE (E2)                    | ALTO          | MUY ALTO                                 | MEDIO  |
| OPTIMISTA (E3)                  | ALTO          | MUY ALTO                                 | ALTO   |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO IV: CRITERIO POR NIVELES            |  |

CRITERIO: RESPETO A LAS COSTUMBRES Y ESTÁNDARES DEL LUGAR ID(22)

|                                 |               |  |  |
|---------------------------------|---------------|--|--|
|                                 |               | <p>OBJETIVO:<br/>MAXIMIZAR<br/><math>q:0</math><br/><math>p:5</math></p> | <p>ESCALA:<br/>MUY ALTO<br/>ALTO<br/>MEDIO<br/>BAJO<br/>MUY BAJO</p> |
| ESCENARIO/ ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B  | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | MEDIO         | ALTO   | MEDIO  |
| POSIBLE (E2)                    | ALTO          | ALTO   | MEDIO  |
| OPTIMISTA (E3)                  | ALTO          | ALTO   | ALTO   |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO IV: CRITERIO POR NIVELES  |  |

CRITERIO: GRADO DE IMPACTO NEGATIVO SOBRE LA COMUNIDAD ID(28)

|                                 |               |  |  |
|---------------------------------|---------------|--|--|
|                                 |               | <p>OBJETIVO:<br/>MINIMIZAR<br/><math>q:0</math><br/><math>p:5</math></p> | <p>ESCALA:<br/>MUY ALTO<br/>ALTO<br/>MEDIO<br/>BAJO<br/>MUY BAJO</p> |
| ESCENARIO/ ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B  | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | MEDIO         | BAJO   | BAJO   |
| POSIBLE (E2)                    | BAJO          | BAJO   | BAJO   |
| OPTIMISTA (E3)                  | MUY BAJO      | MUY BAJO   | MUY BAJO   |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO IV: CRITERIO POR NIVELES  |  |

CRITERIO: SEGURIDAD Y SALUD TRABAJADORES ID(29)

|                                 |               |  |  |
|---------------------------------|---------------|--|--|
|                                 |               | OBJETIVO:<br>MAXIMIZAR<br>$q:0$<br>$p:5$ | ESCALA:<br>MUY BUENO<br>BUENO<br>REGULAR<br>MALO<br>MUY MALO |
| ESCENARIO/ ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B                            | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | BUENO         | BUENO                                    | BUENO  |
| POSIBLE (E2)                    | BUENO         | MUY BUENO                                | BUENO  |
| OPTIMISTA (E3)                  | MUY BUENO     | MUY BUENO                                | BUENO  |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO IV: CRITERIO POR NIVELES            |  |

CRITERIO: GRADO DE SATISFACCIÓN DE LA SOCIEDAD ID(33)

|                                 |               |  |  |
|---------------------------------|---------------|--|--|
|                                 |               | OBJETIVO:<br>MAXIMIZAR<br>$q:0$<br>$p:5$ | ESCALA:<br>MUY ALTO<br>ALTO<br>MEDIO<br>BAJO<br>MUY BAJO |
| ESCENARIO/ ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B                            | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | MEDIO         | MEDIO                                    | MEDIO  |
| POSIBLE (E2)                    | ALTO          | ALTO                                     | MEDIO  |
| OPTIMISTA (E3)                  | MUY ALTO      | ALTO                                     | ALTO   |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO IV: CRITERIO POR NIVELES            |  |



CRITERIO: GRADO DE INCREMENTO DE LOS NIVELES DE FORMACIÓN E INFORMACIÓN ID(34)

|                                 |               |  |  |
|---------------------------------|---------------|--|--|
|                                 |               | OBJETIVO:<br>MAXIMIZAR<br>$q:0$<br>$p:5$ | ESCALA:<br>MUY ALTO<br>ALTO<br>MEDIO<br>BAJO<br>MUY BAJO |
| ESCENARIO/<br>ALTERNATIVA       | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B                            | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | ALTO          | MEDIO                                    | MEDIO  |
| POSIBLE (E2)                    | MUY ALTO      | ALTO                                     | ALTO   |
| OPTIMISTA (E3)                  | MUY ALTO      | MUY ALTO                                 | ALTO   |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO IV: CRITERIO POR NIVELES            |  |

CRITERIO: TIEMPO DE VIDA ÚTIL ID(47)

|                                 |               |  |  |
|---------------------------------|---------------|--|--|
|                                 |               | OBJETIVO:<br>MAXIMIZAR<br>$q:2$<br>$p:4$                         | ESCALA:<br>CUANTITATIVA<br>TIEMPO (AÑOS)<br>(ANTES DE LA NECESIDAD<br>DE<br>INVERSION ADICIONAL) |
| ESCENARIO/<br>ALTERNATIVA       | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B  | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | 2             | 2,5  | 2  |
| POSIBLE (E2)                    | 3             | 3  | 2,5  |
| OPTIMISTA (E3)                  | 3,5           | 3,5  | 3  |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO V: CRITERIO LINEAL CON ÁREAS DE PREFERENCIA E INDIFERENCIA. |  |

CRITERIO: USO DE EQUIPOS DE ALTO GRADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ID(60)

|                                 |               |  |               |                               |
|---------------------------------|---------------|--|---------------|-------------------------------|
|                                 |               | <p>OBJETIVO:<br/>MAXIMIZAR<br/><math>q:20\%</math><br/><math>p:60\%</math></p> |               | <p>ESCALA:<br/>PORCENTUAL</p> |
| ESCENARIO/<br>ALTERNATIVA       | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B  | ALTERNATIVA C |                               |
| PESIMISTA (E1)                  | 10%           | 15%  | 50%           |                               |
| POSIBLE (E2)                    | 15%           | 25%  | 60%           |                               |
| OPTIMISTA (E3)                  | 20%           | 30%  | 80%           |                               |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO V: CRITERIO LINEAL CON ÁREAS DE PREFERENCIA E INDIFERENCIA.               |               |                               |

CRITERIO: EFICIENCIA EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS ID(61)

|                                 |               |  |               |  |
|---------------------------------|---------------|--|---------------|--|
|                                 |               | <p>OBJETIVO:<br/>MAXIMIZAR<br/><math>q:50\%</math><br/><math>p:85\%</math></p> |               | <p>ESCALA:<br/>PROCENTUAL<br/>(CONSIDERO EL PORCENTAJE DE DESPERDICIOS GESTIONADOS PARA RECICLAJE)</p> |
| ESCENARIO/<br>ALTERNATIVA       | ALTERNATIVA A | ALTERNATIVA B  | ALTERNATIVA C |  |
| PESIMISTA (E1)                  | 50%           | 45%  | 60%           |  |
| POSIBLE (E2)                    | 70%           | 60%  | 70%           |  |
| OPTIMISTA (E3)                  | 80%           | 70%  | 80%           |  |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: |               | TIPO V: CRITERIO LINEAL CON ÁREAS DE PREFERENCIA E INDIFERENCIA.               |               |  |

CRITERIO: PORCENTAJE DE AHORRO DE AGUA ID(64)

|                                 |  |  |  |
|---------------------------------|--|--|--|
|                                 |  | <p>OBJETIVO:<br/>MAXIMIZAR<br/><math>q:15\%</math><br/><math>p:50\%</math></p> | <p>ESCALA:<br/>PROCENTUAL<br/>(CONSIDERO EL VALOR PORCENTUAL ADICIONAL EN COMPARACION A PROYECTOS SIMILARES YA EXISTENTES)</p> |
| ESCENARIO/<br>ALTERNATIVA       | ALTERNATIVA A  | ALTERNATIVA B  | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | 20%  | 20%  | 30%  |
| POSIBLE (E2)                    | 25%  | 30%  | 40%  |
| OPTIMISTA (E3)                  | 30%  | 40%  | 45%  |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: | TIPO V: CRITERIO LINEAL CON ÁREAS DE PREFERENCIA E INDIFERENCIA. |  |  |

CRITERIO: GRADO DE OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS ID(43)

|                                 |                               |  |  |
|---------------------------------|-------------------------------|--|--|
|                                 |                               | <p>OBJETIVO:<br/>MAXIMIZAR<br/><math>q:0</math><br/><math>p:5</math></p> | <p>ESCALA:<br/>MUY ALTO<br/>ALTO<br/>MEDIO<br/>BAJO<br/>MUY BAJO</p> |
| ESCENARIO/<br>ALTERNATIVA       | ALTERNATIVA A                 | ALTERNATIVA B  | ALTERNATIVA C  |
| PESIMISTA (E1)                  | BAJO                          | MEDIO  | ALTO   |
| POSIBLE (E2)                    | MEDIO                         | ALTO   | ALTO   |
| OPTIMISTA (E3)                  | ALTO                          | MUY ALTO   | ALTO   |
| TIPO DE FUNCION DE PREFERENCIA: | TIPO IV: CRITERIO POR NIVELES |  |  |

Adicionalmente al tratarse de un caso de asignación de fondos para un proyecto de inversión es de suma importancia considerar el monto requerido para cada uno de estos proyectos, a este criterio se le ha dado una importancia del 10% sobre el global, el objetivo es minimizar la erogación monetaria necesaria para la ejecución del proyecto, sin embargo adicionalmente existen limitantes económicas, las características de este criterio se presentan a continuación:

CRITERIO: MONTO DE LA INVERSION (IMPORTANCIA: 20%)

|                                    |  |   |               |                            |
|------------------------------------|--|---|---------------|----------------------------|
|                                    |  | OBJETIVO:<br>MINIMIZAR<br>$q:100000$<br>$p:50000$ |               | ESCALA:<br>MONETARIA (USD) |
| ESCENARIO/<br>ALTERNATIVA          | ALTERNATIVA A  | ALTERNATIVA B                                     | ALTERNATIVA C |                            |
| PESIMISTA (E1)                     | 70000  | 60000   | 78000         |                            |
| POSIBLE (E2)                       | 50000  | 46000   | 60000         |                            |
| OPTIMISTA (E3)                     | 47000  | 40000   | 52000         |                            |
| TIPO DE FUNCION DE<br>PREFERENCIA: | TIPO V: CRITERIO LINEAL CON ÁREAS DE PREFERENCIA E INDIFERENCIA. |   |               |                            |

Retomando el objetivo del Caso de Aplicación de la propuesta, es necesario mostrar las diferencias existentes con otros enfoque más tradicionales para la toma de decisiones, como el análisis costo Beneficio, cálculo de Valor Presente Neto (VPN) y de la Tasa Interna de Retorno (TIR). Para ello se consideró el cálculo de estos indicadores para un periodo de 3 años, considerando que la tasa de interés de descuento para las tres alternativas era la misma (13%) para todos los casos, con esta consideración se obtuvieron las siguientes tablas de evaluación de alternativas en términos financieros.

Tabla 36. Evaluación Financiera para Escenario Pesimista (E1)

| E1               | Alternativa A        | Alternativa B       | Alternativa C        |
|------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1er Año          | \$ 32.000,00         | \$ 20.000,00        | \$ 30.000,00         |
| 2do Año          | \$ 46.000,00         | \$ 25.000,00        | \$ 42.000,00         |
| 3er Año          | \$ 52.000,00         | \$ 35.000,00        | \$ 48.000,00         |
| <b>TOTAL</b>     | <b>\$ 130.000,00</b> | <b>\$ 80.000,00</b> | <b>\$ 120.000,00</b> |
| <b>INVERSION</b> | <b>\$ 70.000,00</b>  | <b>\$ 60.000,00</b> | <b>\$ 78.000,00</b>  |
| VPN              | \$ 30.382,00         | \$ 15.350,00        | \$ 14.707,00         |
| TIR              | 35,08%               | 14,37%              | 22,96%               |

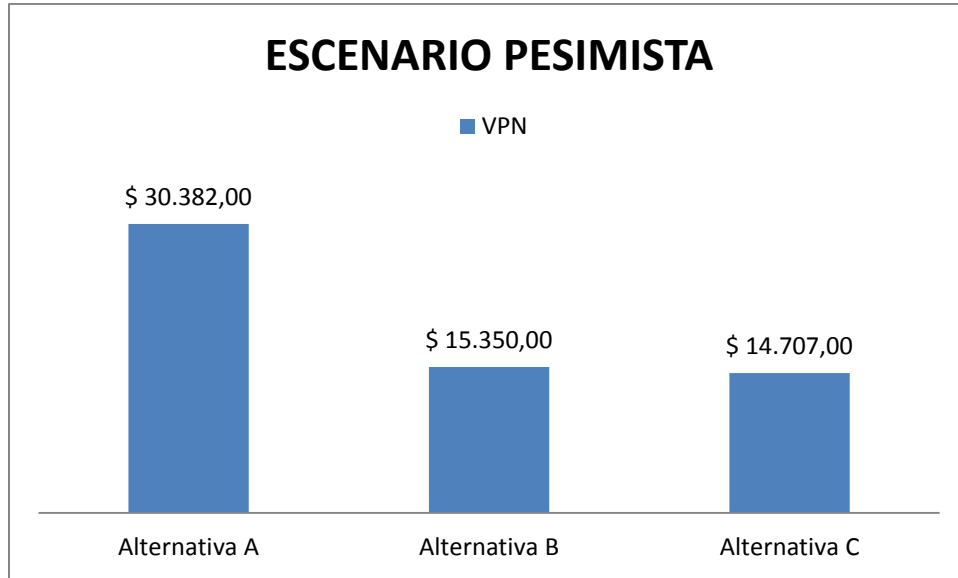


Figura 33. VPN para Escenario Pesimista (E1)

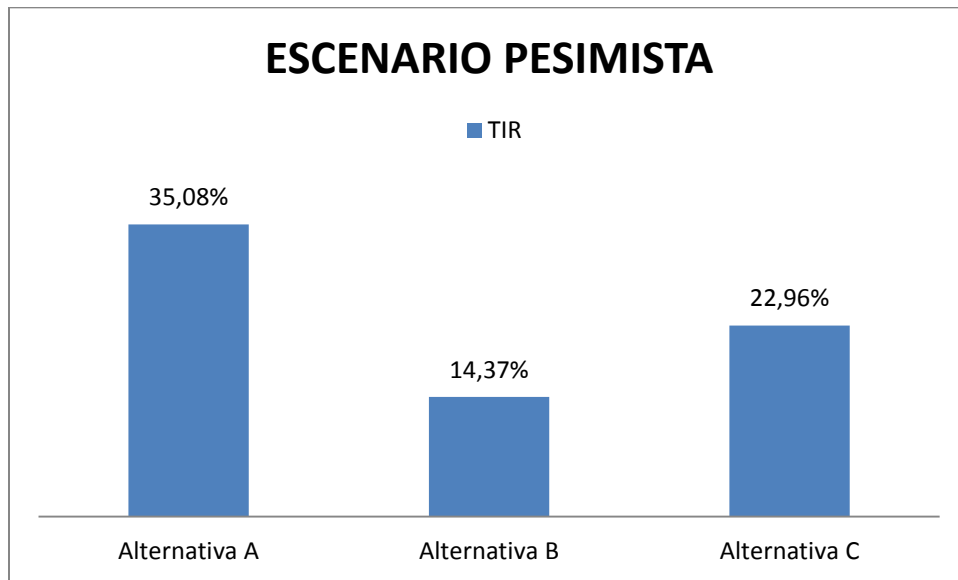


Figura 34. TIR para Escenario Pesimista (E1)

Para este escenario los resultados pueden resumirse en la selección de la alternativa A debido a una diferencia de 12.12% con la TIR de la opción siguiente (alternativa C), aun cuando las tres alternativas pueden considerarse proyectos económicamente atractivos, si se quiere jerarquizar las alternativas se obtendría el siguiente orden de prelación:

1. Alternativa A
2. Alternativa C
3. Alternativa B

Se considera que la probabilidad de ocurrencia para este escenario de 25%

Tabla 37. Evaluación Financiera para Escenario Posible (E2)

| E2               | Alternativa A        | Alternativa B       | Alternativa C        |
|------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1er Año          | \$ 34.000,00         | \$ 17.000,00        | \$ 32.000,00         |
| 2do Año          | \$ 52.000,00         | \$ 24.000,00        | \$ 44.000,00         |
| 3er Año          | \$ 54.000,00         | \$ 32.000,00        | \$ 49.000,00         |
| <b>TOTAL</b>     | <b>\$ 145.000,00</b> | <b>\$ 75.000,00</b> | <b>\$ 125.000,00</b> |
| <b>INVERSION</b> | <b>\$ 50.000,00</b>  | <b>\$ 46.000,00</b> | <b>\$ 60.000,00</b>  |
| <b>VPN</b>       | <b>\$ 58.237,00</b>  | <b>\$ 10.017,00</b> | <b>\$ 36.736,00</b>  |
| <b>TIR</b>       | <b>68,09%</b>        | <b>24,13%</b>       | <b>43,81%</b>        |

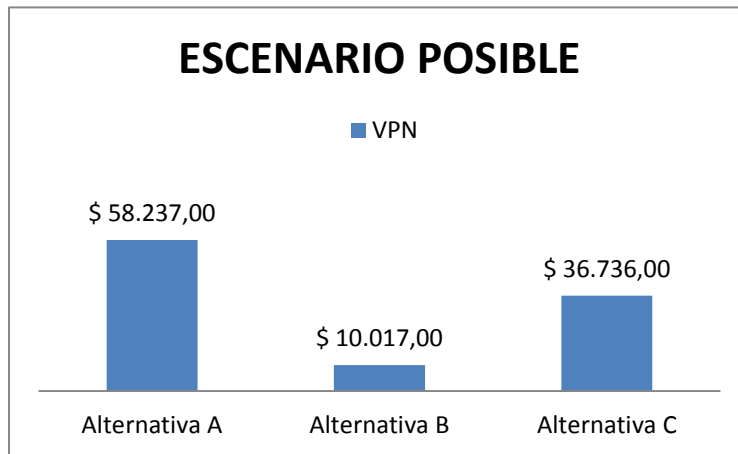


Figura 35. VPN para Escenario Posible (E2)

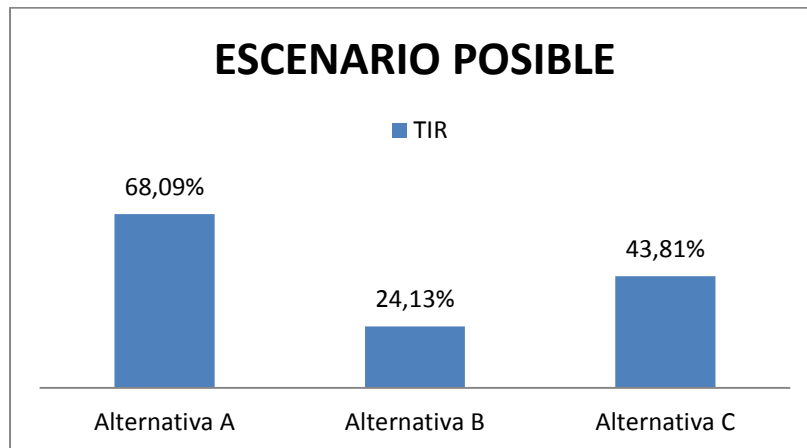


Figura 36. TIR para Escenario Posible (E2)

Se considera que este escenario tiene una probabilidad de ocurrencia del 50%, se mantiene la Alternativa A como la más deseable, incrementándose la diferencia porcentual de la TIR entre las alternativas A y C de 12,12 a 24,28, adicionalmente el desempeño de la alternativa B mejora en relación al escenario E1.

El orden de prelación preexistente se mantiene igual al del escenario E1 (anterior).

Tabla 38. Evaluación Financiera para Escenario Optimista (E3)

| E3               | Alternativa A        | Alternativa B       | Alternativa C        |
|------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1er Año          | \$ 34.000,00         | \$ 17.000,00        | \$ 32.000,00         |
| 2do Año          | \$ 52.000,00         | \$ 27.000,00        | \$ 44.000,00         |
| 3er Año          | \$ 54.000,00         | \$ 31.000,00        | \$ 49.000,00         |
| <b>TOTAL</b>     | <b>\$ 145.000,00</b> | <b>\$ 75.000,00</b> | <b>\$ 125.000,00</b> |
| <b>INVERSION</b> | <b>\$ 47.000,00</b>  | <b>\$ 40.000,00</b> | <b>\$ 52.000,00</b>  |
| <b>VPN</b>       | <b>\$ 61.237,00</b>  | <b>\$ 17.674,00</b> | <b>\$ 44.736,00</b>  |
| <b>TIR</b>       | <b>73,93%</b>        | <b>31,05%</b>       | <b>55,19%</b>        |

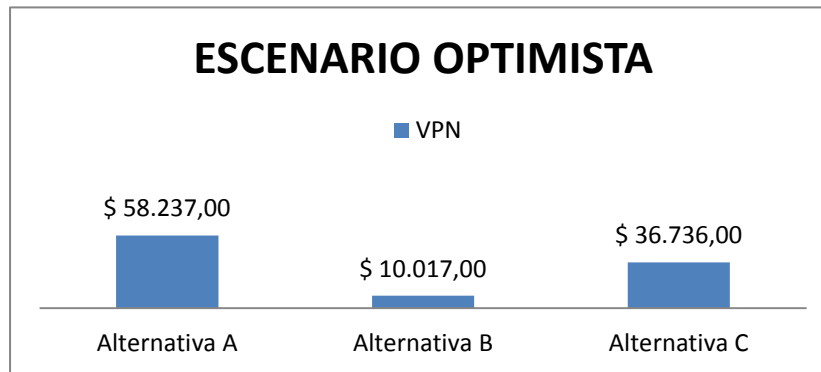


Figura 37. VPN para Escenario Optimista (E3)

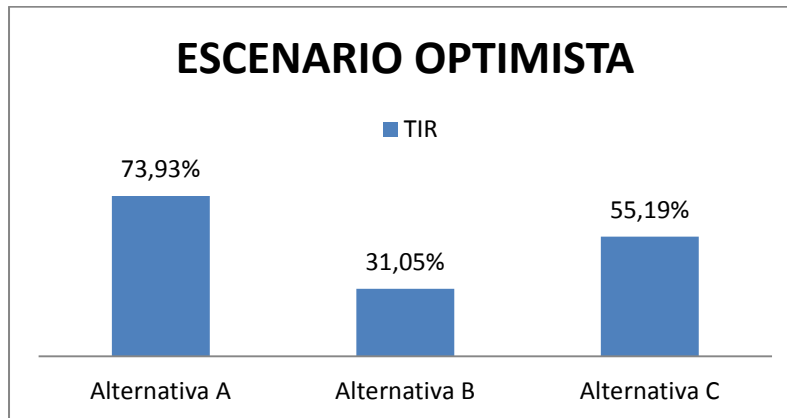


Figura 38. TIR para Escenario Optimista (E3)

En este tercer escenario se mantiene la tendencia antes observada donde la alternativa A tiene un rendimiento económico superior a C y B respectivamente, sin embargo la diferencia entre la TIR de A y C se reduce de 24,28% a 18,74% en el escenario E3. Al igual que para E1, se considera una probabilidad de ocurrencia de 25%.

Tabla 39. Evaluación Financiera para Escenario Combinado

| GENERAL          | Alternativa A        | Alternativa B       | Alternativa C        |
|------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1er Año          | \$ 33.500,00         | \$ 17.750,00        | \$ 31.500,00         |
| 2do Año          | \$ 50.500,00         | \$ 25.000,00        | \$ 43.500,00         |
| 3er Año          | \$ 53.500,00         | \$ 32.500,00        | \$ 48.750,00         |
| <b>TOTAL</b>     | <b>\$ 137.500,00</b> | <b>\$ 75.250,00</b> | <b>\$ 123.750,00</b> |
| <b>INVERSION</b> | <b>\$ 54.250,00</b>  | <b>\$ 48.000,00</b> | <b>\$ 62.500,00</b>  |
| VPN              | \$ 52.023,25         | \$ 13.264,50        | \$ 33.228,75         |
| TIR              | 59,61%               | 23,52%              | 39,95%               |

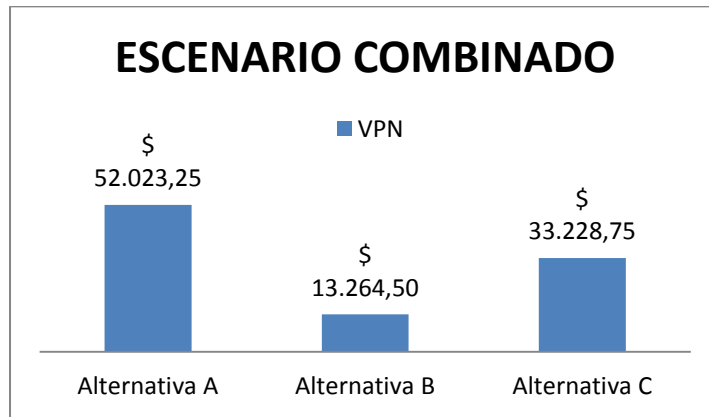


Figura 39. VPN para Escenario Combinado

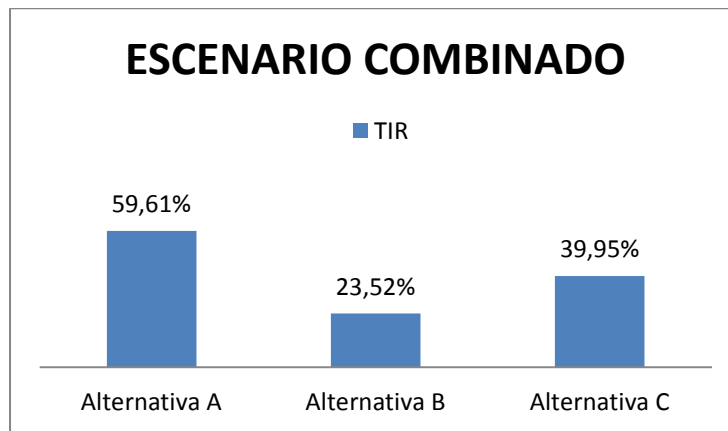


Figura 40. TIR para Escenario Combinado

Considerando las posibilidades de ocurrencia siguientes: E1=25%, E2=50% y E3=25%, se construyó un escenario combinado, donde la variación de TIR entre A y C es de 19.66%, la tendencia se mantiene; jerarquizando las alternativas de la siguiente forma: A, C y finalmente B. Como se muestra en la evaluación financiera de las alternativas se puede observar que el mejor



rendimiento mostrado es el de la Alternativa A, sin embargo es necesario evaluar los demás criterios seleccionados por el centro de decisión para gestionar el proceso decisorio, de esta forma es posible caracterizar de mejor forma las alternativas para tomar una decisión más acertada y que mejor responda a las necesidades de la organización.

Los valores de los criterios de evaluación, así como sus funciones de preferencia y sus respectivos grados de importancia son alimentados en un software especialmente diseñado para este análisis de decisión, para esta tesis se utilizó de paquete informático *Decision Lab 2000* [135]. Las pantallas del sistema se presentan a continuación a fin de mostrar el proceso. En un inciso siguiente se presenta el análisis y discusión de los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología producto de la presente tesis en el caso hipotético de estudio.

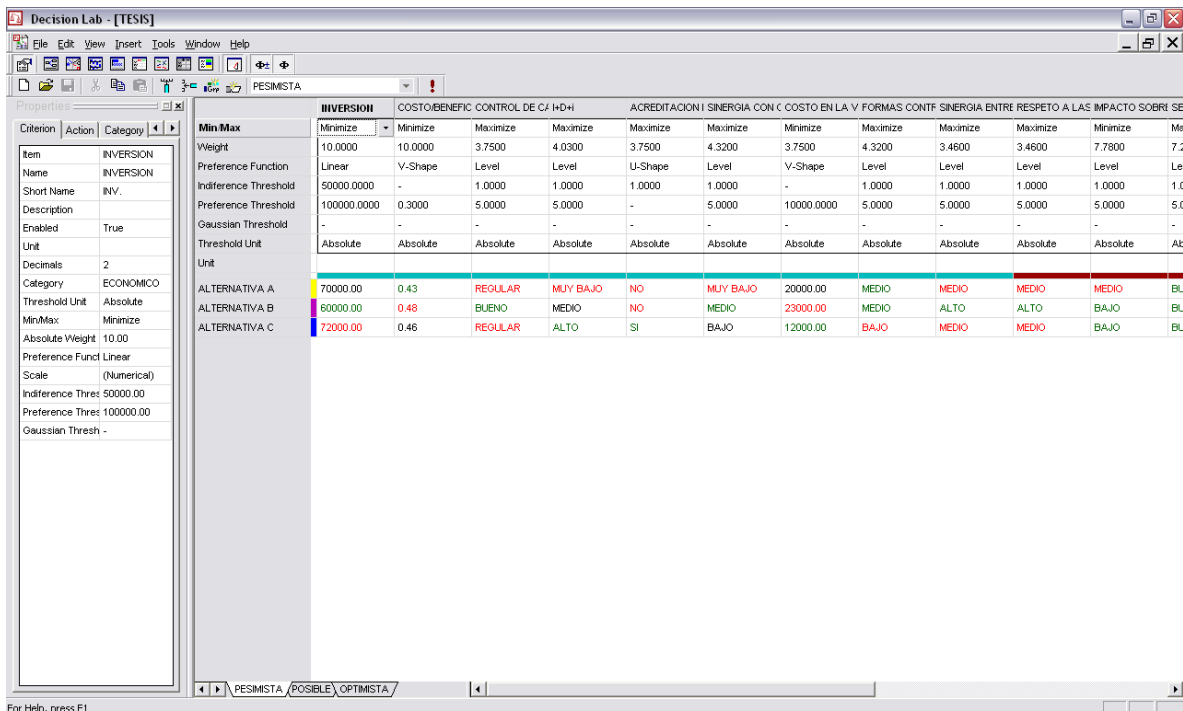


Figura 41. Pantalla de *Decision Lab* con la alimentación de información del modelo

Como se puede ver cada una de las alternativas y criterios son totalmente caracterizados, posteriormente se procede a iniciar al análisis, sin embargo hay que destacar que al tratarse de varios escenarios, y que la probabilidad de ocurrencia de ellos no es igual, para este caso de estudio se consideró adecuada la siguiente carga de probabilidades de que se presenten:

- Pesimista: 25%
- Posible: 50%
- Optimista: 25%

Dicho lo anterior a continuación se muestra el análisis para cada uno de los escenarios y luego el análisis conjunto de las alternativas.

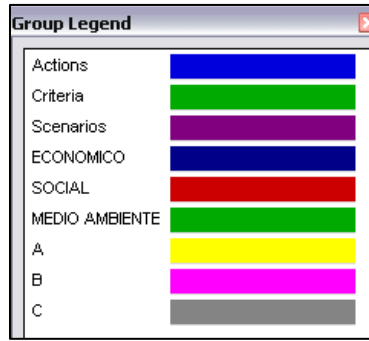


Figura 42. Clave de Colores

ESCENARIO PESIMISTA E1

A continuación se presentan los resultados correspondientes al escenario pesimista, para su posterior análisis y discusión.

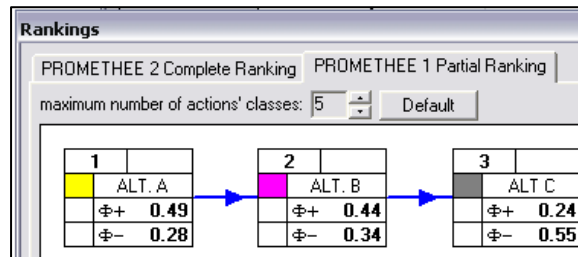


FIGURA 43. Clasificación PROMETHEE 1 para el escenario E1

En esta primera aproximación se presentan tanto los flujos de  $\phi^+$  como los de  $\phi^-$ , es decir se consideran ambos flujos de la función de preferencia, sin embargo es posible que se presente algún tipo de empate, por lo que es necesario evaluar la jerarquización completa de PROMETHEE II presentada en la Figura 44.

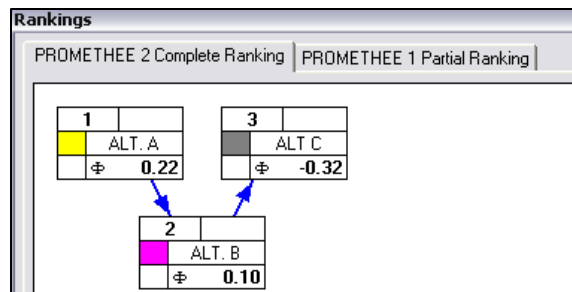


Figura 44. Clasificación Completa PROMETHEE 2 para el escenario E1

Para PROMETHEE II en E1 la clasificación no varía en relación con el análisis anterior, sin embargo es más visible el rendimiento general de cada alternativa en relación con los criterios y preferencias del centro decisor, esto se muestra más gráficamente en la Figura 45. Mientras mayor sea el puntaje del flujo  $\phi$ , más preferible se considera la alternativa para el centro decisor.

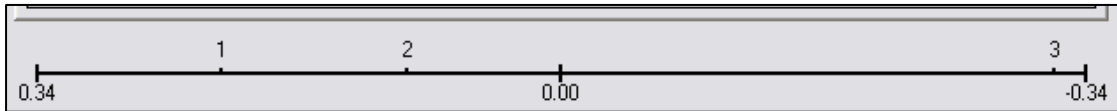


Figura 45. Eje de Preferencia del centro decisor para E1

Es importante además analizar la distribución general de la importancia relativa que se ha asignado a cada uno de los criterios de evaluación, para se consideró oportuna la utilización de las siguientes graficas:

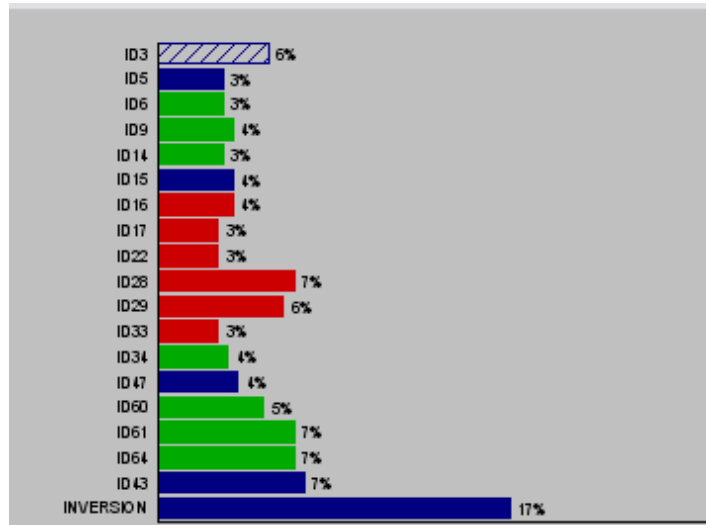


Figura 46. Distribución de importancia entre los criterios de evaluación para todos los escenarios

Si bien existe una mayor carga de importancia sobre el eje económico, en términos generales, a criterio del autor, se puede concluir que se trata un sistema de evaluación integral y equilibrado, la mayor carga en el eje económico se explica en la restricción del monto de la inversión, al cual en incisos anteriores se definió como un valor a minimizarse, siendo un criterio con importancia general del 20%.

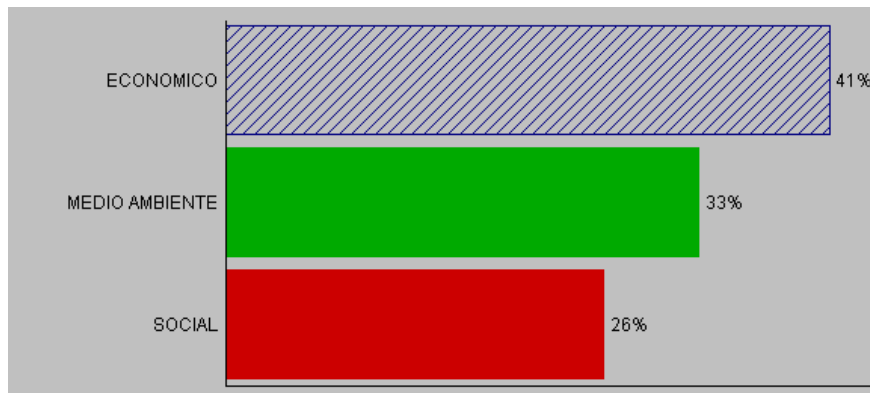


Figura 47. Distribución de importancia por eje de desarrollo en sistema de evaluación propuesto para el caso de estudio

Al manejar gran cantidad de información en un sistema de toma de decisiones, difícilmente toda esta información es graficable simultáneamente en un plano bidimensional, sin embargo la

metodología PROMETHEE, y en especial el software *Decision Lab*, cuentan con una herramienta de análisis gráfico de la información llamada Plano GAIA, a continuación se presenta el análisis en base a esta técnica para el escenario E1.

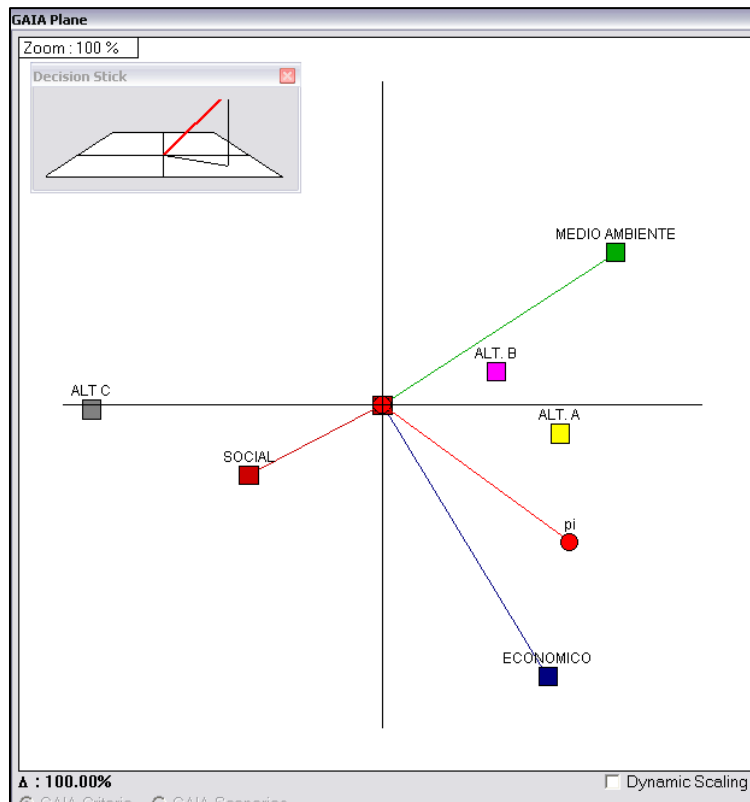


Figura 48. Plano GAIA (E1)

En la Figura 48 se identifican cuatro ejes; tres ejes de desarrollo (económico, social y medioambiental) y un cuarto eje llamado “*pi*”, este es el eje de decisión, está construido en base a la información proporcionada al modelo en relación a las preferencias del centro decisor, la dinámica de este análisis se basa en mostrar gráficamente la ubicación de cada alternativa considerando sus rendimientos individuales, y las limitantes de la traducción grafica de información a un plano bidimensional, en la parte superior izquierda se presenta un recuadro con información acerca de la inclinación del eje de decisión respecto al plano, para entender mejor la distancia a la que los puntos que representan las alternativas A, B y C se encuentran. Para el caso particular del escenario E1, es claro que la alternativa A es la que as cercana se encuentra del eje de decisión, y su rendimiento es más próximo a lo deseable en los ejes medioambiental y económico en contraste a su rendimiento en relación a lo social, donde hay una mejor respuesta por parte de la alternativa C para este escenario.

Finalmente como parte del análisis del comportamiento de las alternativas en este escenario se presenta el rendimiento asociado a cada una de ellas, y una gráfica comparativa entre las alternativas A y C que se anticipa, serán objeto de un análisis más profundo para la toma de decisiones en este caso de aplicación.

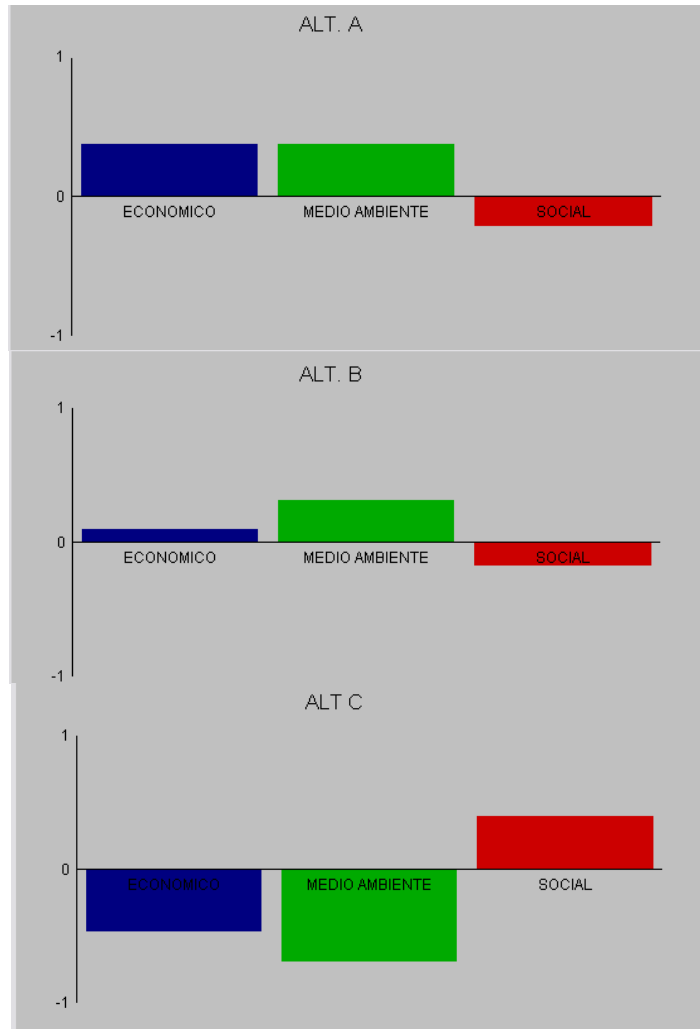


Figura 49. Importancia Porcentual por eje de Desarrollo y Rendimiento de cada alternativa



Figura 50. Comparativa de rendimientos entre A y C para el Escenario E1

ESCENARIO POSIBLE E2

Se considera que la posibilidad de ocurrencia de este escenario es de 50%, por lo tanto el resultado que arroje el análisis individual de este escenario, será de gran influencia para el análisis final de la decisión.

A continuación se presentan los resultados obtenidos con el software y la metodología propuesta, se ha omitido la descripción de las mismas salvo sea necesario, a fin de evitar la redundancia al haberse explicado su significado en el apartado anterior.

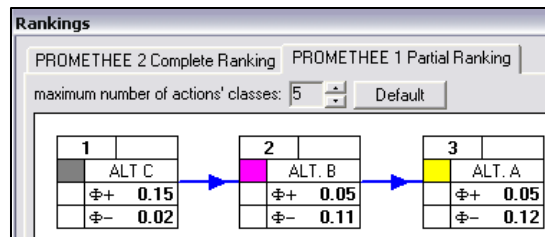


Figura 51. PROMETHEE I para escenario E2

El orden de jerarquización de las alternativas ha cambiado, para este escenario presenta un mejor rendimiento la alternativa C sobre B y A, es necesario un mayor análisis para entender los motivos por los que se produce este cambio, este escenario sirve de ejemplo además para mostrar los posibles empates en la jerarquización con la técnica PROMETHEE I, como se ve en la figura 51, donde los flujos  $\phi^+$  son iguales para B y A; sin embargo con PROMETHEE II este empate se elimina.

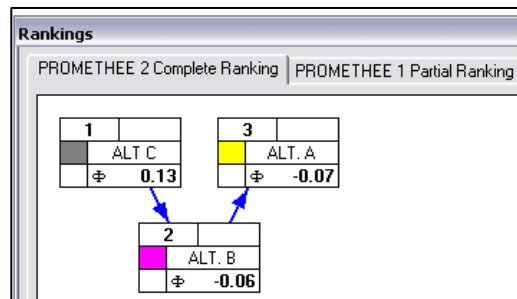


Figura 52. PROMETHEE II para Escenario E2

El eje de preferencia en la Figura 53 muestra que las alternativas B y A presentan grados de preferencia similares respecto al centro decisor, sin embargo distan bastante del rendimiento de la alternativa C.

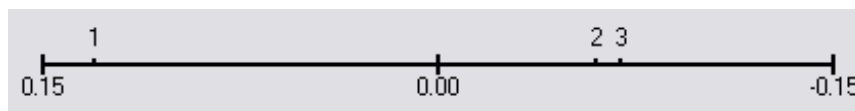


Figura 53 Eje de preferencias del centro decisor para escenario E2

A diferencia del escenario anterior donde se presentaba una marcada tendencia a satisfacer las preferencias de los ejes económico y medioambiental, el plano GAIA para E2, muestra un rendimiento de la alternativa más equilibrado, atendiendo a los tres ejes de desarrollo.

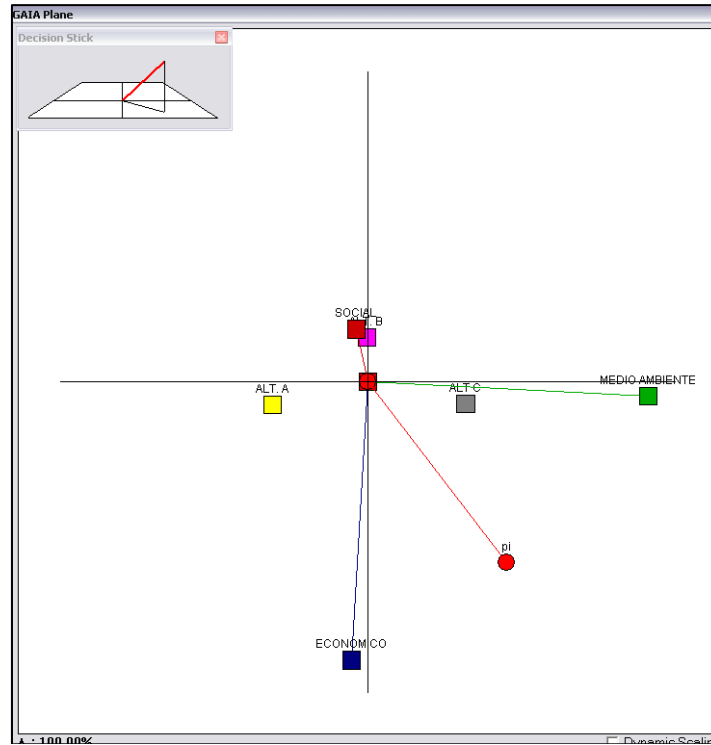


Figura 54 Plano GAIA (E2)

De maneja mejor detallada en la Figura 55 se ve que el rendimiento de la alternativa A (última en este escenario) respecto a los ejes económico y social es levemente mejor que C pero la diferencia lo hace el eje medioambiental, donde el rendimiento de A presenta una marcada reducción; en consecuencia no es considerada la alternativa que mejor satisface los requerimientos del centro decisor.

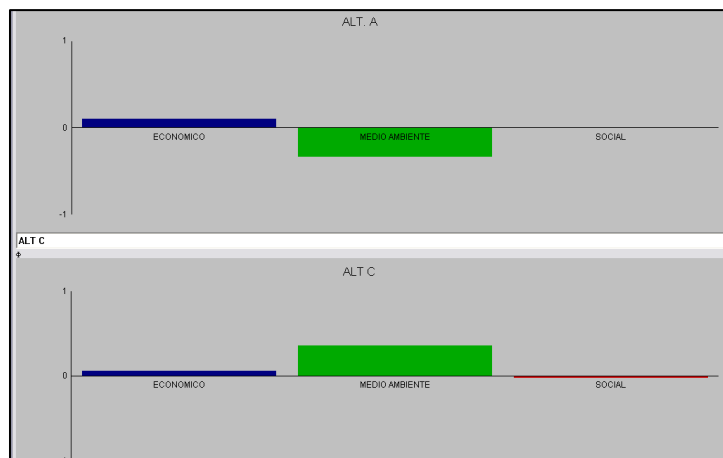


Figura 55 Comparativo alternativas A y C por eje de desarrollo (E2)

Finalmente como parte del analisis de este escenario, en la Figura 56 se presenta una comparativa mas ampliamente detallada entre las alternativas A y C, para un mejor entendimiento del comportamiento de las mismas a lo largo de los posibles escenarios, esto con el fin de que el lector visualice la dinamica del analisis decisorio planteado como parte de propuesta metodologica objeto de esta tesis.

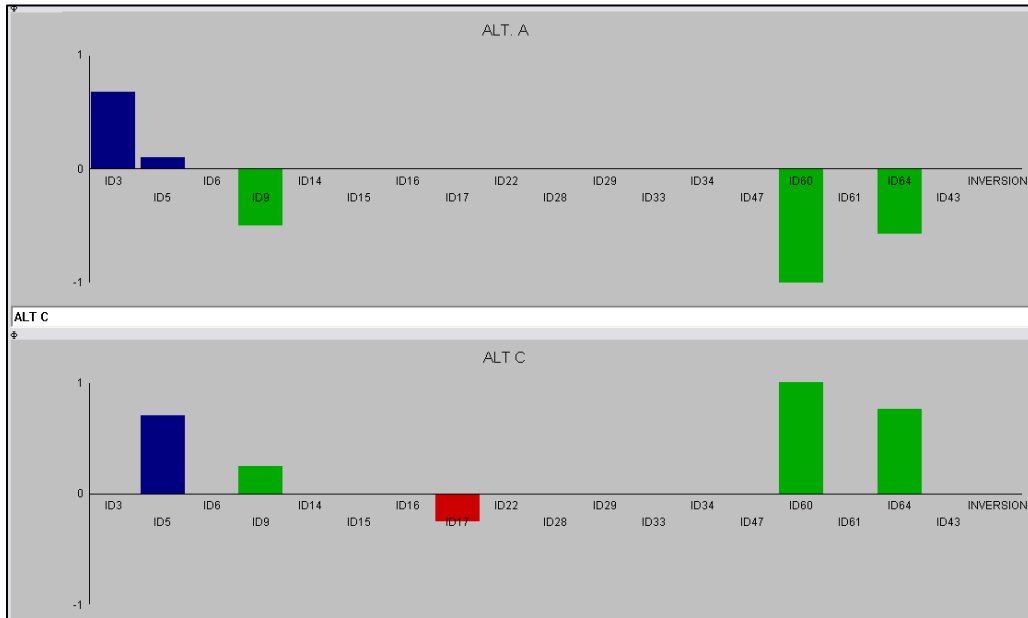


Figura 56. Comparativo entre alternativas A y C por criterio de evaluación (E2)

### ESCENARIO OPTIMISTA E3

Para este tercer escenario planteado, al igual que para E1 se ha considerado una probabilidad de ocurrencia del 25%, estas probabilidades de ocurrencia serán plasmadas en el modelamiento y análisis del escenario combinado que evalúa la información de E1, E2 y E3.

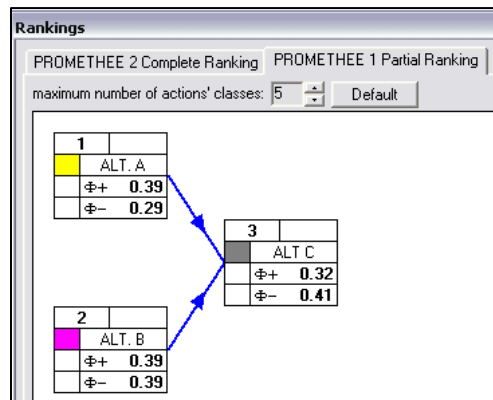


Figura 57. Jerarquización PROMETHEE I para E3



En este escenario se presenta una situación similar a la presentada en la jerarquización de PROMETHEE I para E2, donde se considera igualmente preferible las alternativas A y B ante C, sin embargo en la figura 58 se presenta la jerarquización completa de PROMETHEE II donde el orden de preferencia muestra en primer lugar la alternativa A, luego B y finalmente C.

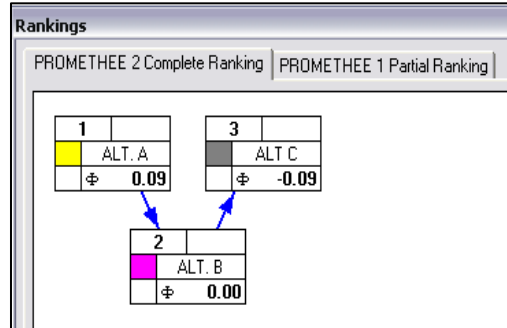


Figura 58. Jerarquización PROMETHEE II para E3

Para este escenario el eje de preferencias Figura 59, muestra una distribución equilibrada de las alternativas a lo largo del mismo, esto se traduce en que entre las alternativas no existen grados similares de preferencia como se había observado en el escenario E2, por lo que la jerarquización presenta mayor grado de significancia.

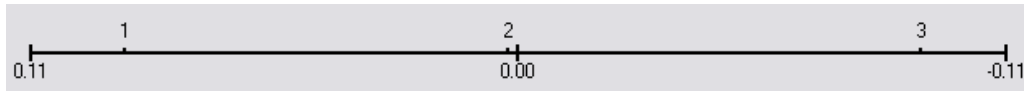


Figura 59. Eje de preferencia para E3

Respecto a la representación del plano GAIA para este escenario presentado en la figura 60, se observa que el eje de preferencia del centro decisor ( $\pi$ ) está bastante cercano al eje económico, por tanto se concluye que la alternativa con mejor rendimiento asociado con este eje será elegida para encabezar la lista jerárquica resultado del modelo.

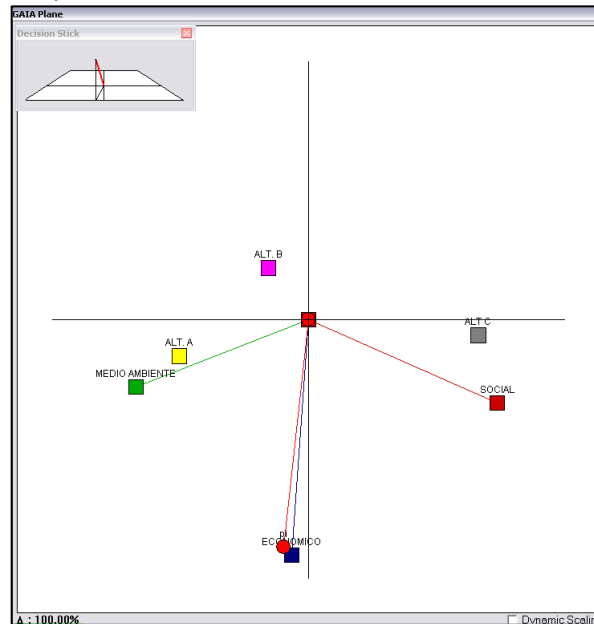


Figura 60. Plano GAIA para E3

Para finalizar el análisis de este escenario se presentan los gráficos comparativos entre las alternativas A y C, se puede apreciar a primera vista en la figura 61 que los rendimientos para cada eje de desarrollo sustentable difieren entre las alternativas, lo que explica su posición en la jerarquización obtenida, un análisis más detallado respecto a cada criterio de evolución es presentado en la figura 62.

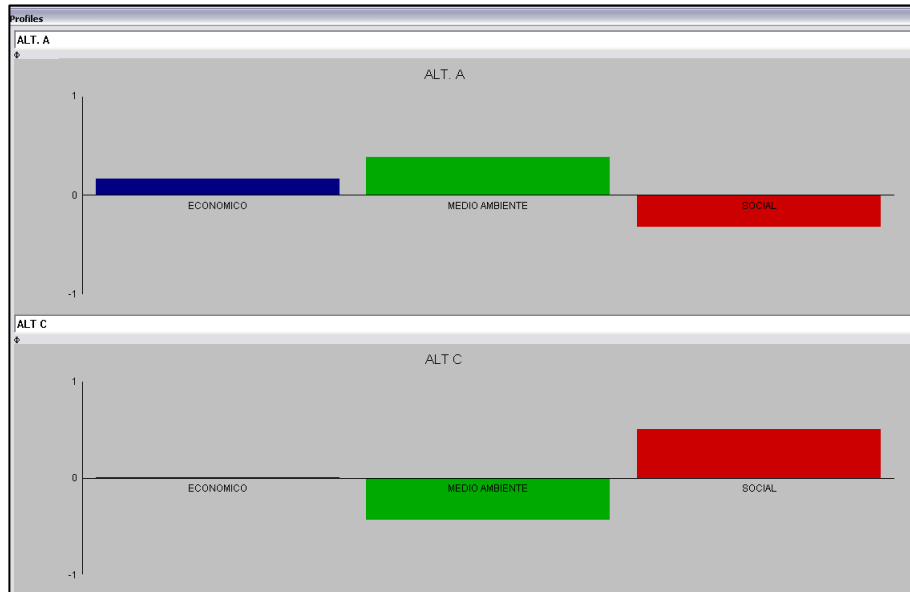


Figura 61. Comparativo entre alternativas A y C por eje de desarrollo (E3)

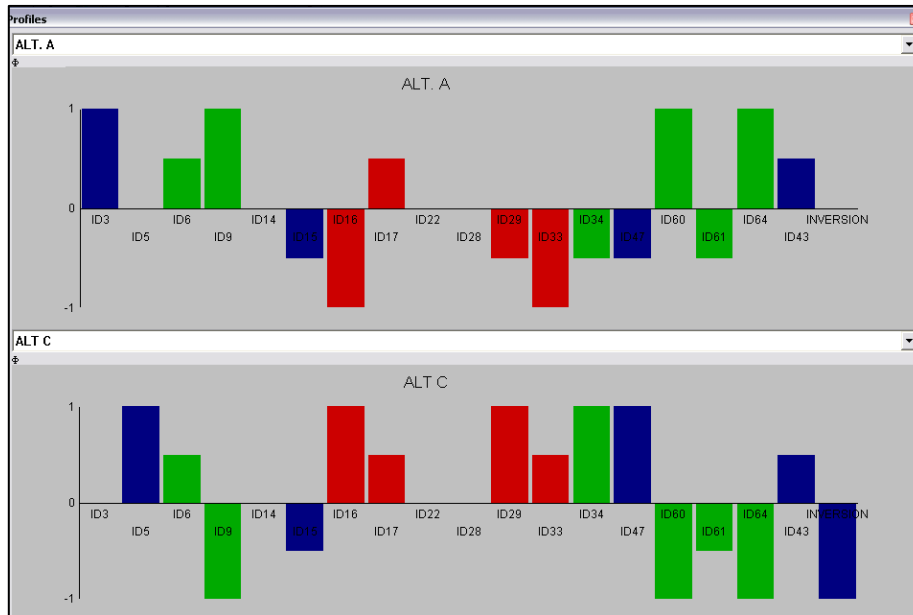


Figura 62. Comparativo entre alternativas A y C por criterio de evaluación (E3)

Como se explicó en la presentación de la propuesta metodológica es necesario conjuntar la información individual de cada escenario evaluado para generar un modelo más robusto, que ayude de mejor manera al proceso decisorio brindando herramientas que permitan visualizar el comportamiento de las alternativas en evaluación, el análisis de este cuarto escenario (escenario

combinado) es presentado a continuación, es en base a los resultados de este escenario que se propone propiciar una decisión informada en el centro decisor.

ESCENARIO COMBINADO (E4)

Para este escenario se utilizó un módulo del software *Decision Lab*, que permite evaluar de manera conjunta la información de rendimiento de cada alternativa y escenario, a fin de evaluar de manera integral el desempeño de cada horizonte de planeación, al tratarse de un caso de ejemplo y al no contar con mayor información se consideró la siguiente distribución de probabilidades de ocurrencia de escenarios: E1: 25%, E2: 50% y E3:25%. Dicho lo anterior, a continuación se presentan los resultados y el análisis que arroja el modelo.

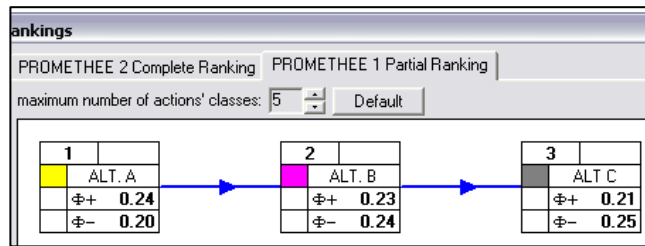


Figura 63. Jerarquización PROMETHEE I para E4

La Figura 63 muestra a la alternativa A como preferible a B y C, sin embargo se observan flujos con una variación relativamente pequeña, esto se ratifica con la jerarquización producto de la técnica PROMETHEE II mostrada en la Figura 64 y 65; la variación entre las alternativas a lo largo del eje de preferencias es de 0,4 entre cada una de ellas, esto obliga a realizar un análisis más profundo de este escenario para entender este comportamiento.

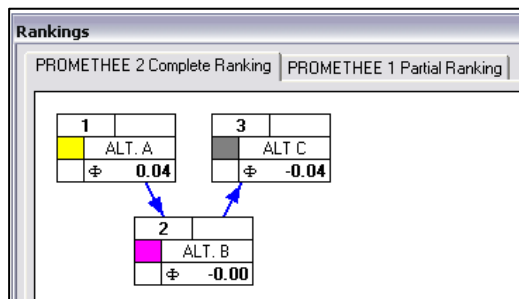


Figura 64. PROMETHEE II para E4

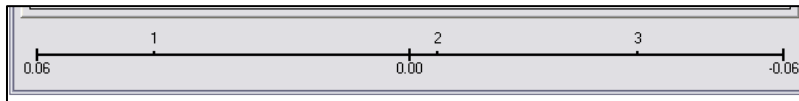


Figura 65. Eje de preferencia para E4

El plano GAIA representado en la Figura 66, muestra que la alternativa A, efectivamente es la más cercana al eje de decisión  $p_i$ , el plano GAIA generado en base a información de los escenarios es presentado en la Figura 67, aquí se puede apreciar la cercanía de la alternativa C al eje del escenario posible, y las alternativas A y B hacia el eje del escenario Pesimista E1 por esta razón

podría llamarse a estas alternativas como las mejores opciones cuando se prevé un futuro adverso.

Sin embargo para este escenario combinado es posible generar un análisis adicional, el llamado análisis de intervalos de estabilidad, es útil para determinar hasta qué punto esta solución es válida, considerando que no se posee mayor certeza sobre la posibilidad de ocurrencia de uno u otro escenario, y además la cercanía en cuanto a la calificación general que se ha generado para cada alternativa.

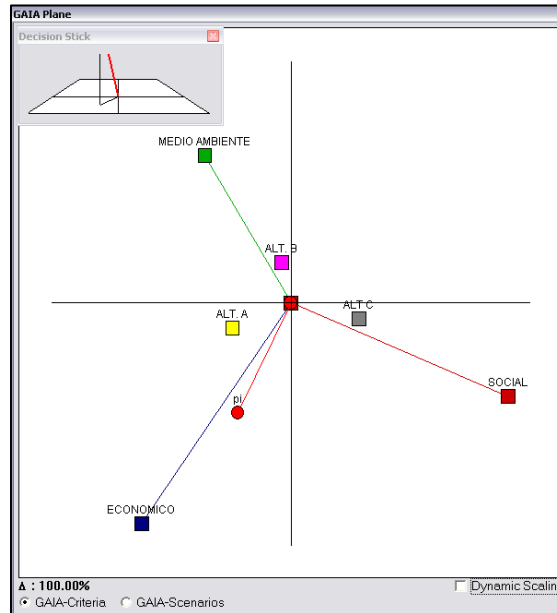


Figura 66. Plano GAIA para E4 en función de los ejes de desarrollo

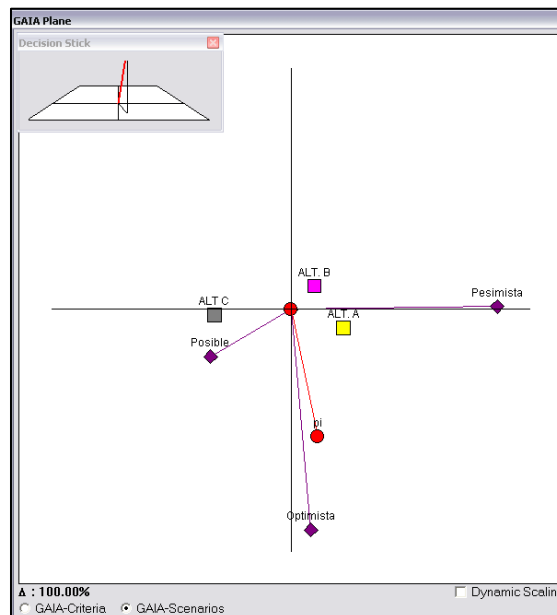


Figura 67. Plano GAIA para E4 representado por los ejes de cada escenario

El análisis de intervalos de estabilidad es presentado en le Figura 68, se determina que para el escenario Posible E2, la solución es válida hasta que su probabilidad de ocurrencia sea del 62,01%, es decir que de poseer mayor información que ratifique la mayor posibilidad de que este escenario se dé en la realidad la solución de jerarquización se modificará, con fines didácticos a continuación se muestra la simulación donde se considera que existe una posibilidad del 63% de que el escenario E2 (posible) ocurra.

| Stability Intervals              |        |          |          |          |            |         |
|----------------------------------|--------|----------|----------|----------|------------|---------|
| Stability Level: 2 first actions |        |          |          |          |            |         |
|                                  | Weight | Interval |          | % Weight | % Interval |         |
|                                  |        | Min      | Max      |          | Min        | Max     |
| Posible                          | 1.5000 | 1.3159   | 2.4489   | 50.00%   | 46.73%     | 62.01%  |
| Optimista                        | 0.7500 | 0.3451   | Infinity | 25.00%   | 13.30%     | 100.00% |
| Pesimista                        | 0.7500 | 0.4009   | 0.8334   | 25.00%   | 15.12%     | 27.03%  |

Figura 68. Intervalos de Estabilidad para el Escenario Combinado E4

Sea entonces el caso descrito anteriormente, la Figura 69 muestra la jerarquización de PROMETHEE I para E4<sub>2</sub> donde se identifica un empate en cuanto a la calificación de preferencia de las alternativas A y C, mismas que han sido evaluadas más ampliamente a lo largo del caso aquí presentado, la jerarquización PROMETHEE II es presentada en la Figura 70, donde se califica igualmente tanto A como a C, esto se explica al analizar el plano GAIA.

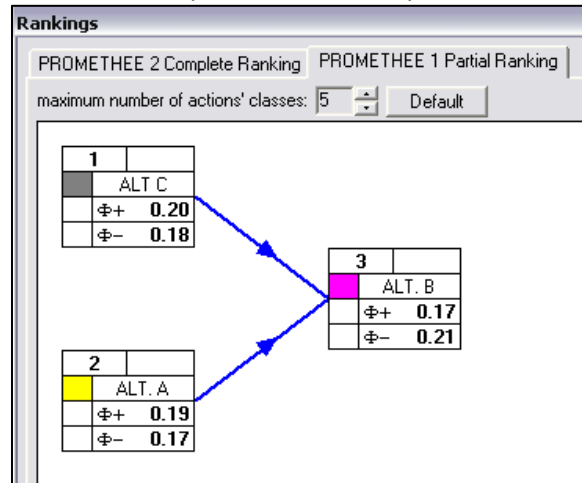


Figura 69. Jerarquización PROMETHEE I para E4<sub>2</sub>

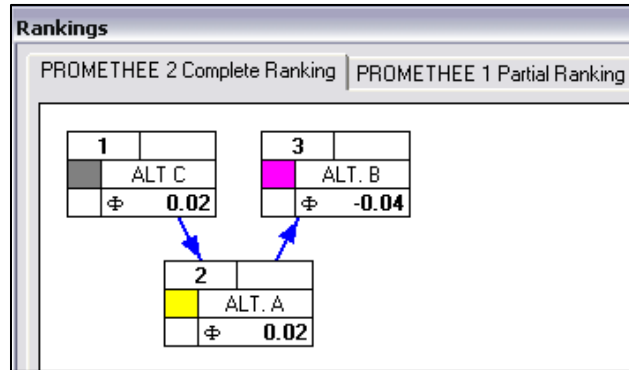


Figura 70. PROMETHEE II para E4<sub>2</sub>

El plano GAIA representado por los ejes de Desarrollo Sustentable mostrado en la Figura 71, indica que la alternativa C aun cuando posee igual calificación general que A, se ubica en un área donde a diferencia de A no solo satisface los requerimientos de los ejes medio ambiental y económico, sino que satisface con mayor integridad los tres ejes de desarrollo sustentable, razón por la que debe ser considerada sobre las demás alternativas.

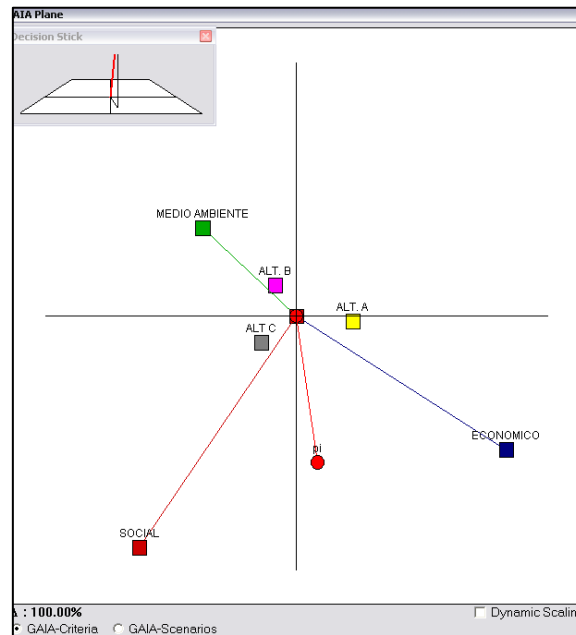


Figura 71. Plano GAIA para E4<sub>2</sub> en función de los ejes de desarrollo sustentable

Adicionalmente al analizar el plano GAIA formado por los ejes de Escenarios se concluye que el eje de decisión  $\pi_i$  está determinado en gran medida por los ejes de los escenarios Posible y Optimista, siendo en el primero la alternativa preferible la A.

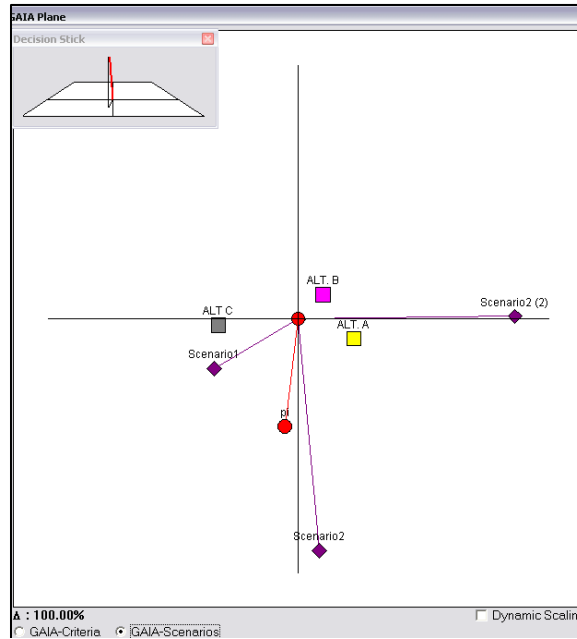


Figura 72. Plano GAIA para E4<sub>2</sub>, formado por los ejes de escenario

## CONCLUSIONES DEL CASO DE APLICACIÓN

Como conclusión general del caso de aplicación se puede mencionar que este proceso no pretende reemplazar las practicas generales para la evaluación de alternativas en un proceso decisorio; por el contrario, pretende servir de apoyo a los análisis que se realizan en las organizaciones, pues como se pudo observar es capaz de brindar una mayor cantidad de información útil para el análisis integral de las alternativas.

Respecto a los resultados obtenidos, es posible concluir que se asemejan a los obtenidos por la evaluación financiera tradicional en los escenarios Pesimista (E1) y Optimista (E3), sin embargo para el escenario con mayor posibilidad de ocurrencia, y por tanto de mayor necesidad de análisis los resultados obtenidos por la propuesta difieren; colocando como la alternativa primera a C, esto se sustenta en que al analizar todos los criterios propuestos esta satisface más íntegramente los tres ejes de sustentabilidad, que difícilmente pueden ser monetizados para ser incluidos en modelos como el cálculo de TIR, VPN o relación Costo/Beneficio.

Manejar el análisis de intervalos de estabilidad a modo de análisis de sensibilidad permite al usuario evaluar mejor el comportamiento o rendimiento de las alternativas respecto a distintos escenarios, sobre todo cuando el proceso decisorio se produce en un ambiente con cierto grado de incertidumbre respecto a la probabilidad de ocurrencia.

El caso presentado, pretende mostrar la aplicación de la propuesta metodológica, es importante destacar que la naturaleza de dicha propuesta es de orden genérico, es decir su aplicación puede

darse en cualquier proceso de jerarquización, o evaluación de alternativas cuando la intención es considerar las características propias del Desarrollo Sustentable.



# CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES

Del presente trabajo de investigación se desprenden las siguientes conclusiones:

1. Si bien el proceso de planeación a nivel organizacional es recurrente y ampliamente estudiado, existe una brecha en cuanto al conocimiento de las particularidades de técnicas de ayuda a la decisión como las aquí presentadas. En este sentido se vuelve necesario que la o las personas encargadas de responsabilidad cuenten con el apoyo de técnicos expertos que solventen este tipo de brechas metodológicas, que, como se menciona a lo largo de esta tesis, pueden no solo servir de ayuda a la identificación de la “mejor alternativa sino también tienen la bondad de ayudar a entender de mejor manera una problemática particular.
2. De la evaluación de las metodologías multicriterio estudiadas se concluye que ninguna solventa totalmente las necesidades de modelación del proceso decisorio, PROMETHEE por ejemplo carece de un proceso para la asignación de importancia a los criterios, por lo que se solventó esta falencia haciendo uso de las ventajas de AHP. Del mismo modo esta última carece de capacidad de modelar las funciones de preferencia del decisor, punto solventado con el uso de PROMETHEE.
3. El conocimiento y aplicación de metodologías de análisis de alternativas como la programación lineal, análisis de causa efecto, o técnicas multicriterio por mencionar algunas no garantiza el éxito de un proceso decisorio, sin embargo un proceso decisorio con mayor robustez; en el que se procure la participación del mayor número de interesados clave, sus criterios y preferencias puede mejorar enormemente la calidad de la decisión.
4. Las características particulares de cada problemática a la cual se pretende atacar con la elección de una u otra alternativa son bastas, es por eso que se hace imprescindible la selección y evaluación de criterios clave de evaluación, que no solo reflejen las preferencias del decisor desde un punto de vista meramente empresarial u organizacional sino que también este banco de criterios refleje las preferencias de los actores externos que pudiesen ser afectados positiva o negativamente por la decisión.
5. En procesos decisivos grupales el coleccionar la gran cantidad de información respecto a las preferencias e indiferencias individuales respecto a la importancia de uno u otro criterio constituye un verdadero reto al momento de evaluar alternativas; en ocasiones esto puede desencadenar conflictos al interior de la organización. A este respecto el autor

considera, que, la técnica AHP utilizada en la propuesta metodológica aquí expuesta es una alternativa válida cuando alguna otra técnica más convencional no puede ser aplicada.

6. El desarrollo sustentable se caracteriza por la pluralidad y multiplicidad de criterios de evaluación que pueden desprenderse de sus tres dimensiones; social, económica y ambiental, como se puede apreciar a lo largo del caso hipotético de estudio. Es por eso que cuando se habla de un modelo robusto debe atenderse también esta necesidad de inclusión de gran cantidad de criterios, en consecuencia se vuelve difícil visualizar a simple vista cuál o cuáles son las alternativas que mejor satisfacen las preferencias expuestas por el centro decisor, de ahí la importancia de contar con herramientas informáticas que mejoren la apreciación crítica durante la elección de un curso de acción.
7. Las características propias de cada criterio de evaluación, sus puntuaciones y los grados de preferencia o indiferencia que el decisor presente ante ellas, no pueden ser iguales para todos los criterios, es por eso que al incluir funciones de preferencia en el proceso decisorio se mejora el modelamiento de la realidad. Estas funciones de preferencia así como los valores de preferencia e indiferencia deben ser elegidos con sumo cuidado pues una elección errónea pudiera afectar todo el proceso
8. Aun cuando este tipo de metodologías pueden en ocasiones ser de gran ayuda, no deben ser vistas como un reemplazo del intelecto, conocimiento e incluso intuición de una persona o centro decisor con el conocimiento del giro particular de negocio y de los factores externos que en más de una ocasión escapan o son imposibles de incluir en un modelo de este tipo. Es en este punto importante recalcar al lector interesado en este tipo de metodologías, que únicamente deben ser consideradas como una ayuda para la administración.

## RECOMENDACIONES

A lo largo de la elaboración de la presente tesis se han ido identificando temas de investigación o puntos en los que se puede profundizar el conocimiento y la aplicabilidad de las técnicas aquí expuestas.

1. La metodología aquí presentada fue concebida para darle la mayor generalidad posible a la propuesta, sin embargo presenta gran cantidad de vacíos que pudiesen ser llenados con un estudio de mayor profundidad respecto a las particulares características de un singular sector productivo, una empresa en particular o una problemática específica, pues los criterios de evaluación como ya se mencionó; no solo dependen de las características de las alternativas o de las preferencias del centro decisor, además son afectadas por el entorno, los actores involucrados, su sinergia con otros planes, entre otros factores. Todo lo anterior sugiere continuar con estudios e investigaciones que brinden la oportunidad de generar metodologías de aplicabilidad delimitada cuya principal ventaja sea la mayor robustez del modelo presentado.

2. Profundizar e incluir técnicas más ampliamente difundidas en el ámbito administrativo como arboles de decisión de un corte probabilístico a la metodologías aquí presentadas a fin de obtener propuestas metodológicas que pudieran acoplarse de mejor manera a la realidad particular de las organizaciones.
3. Existe además la posibilidad de crear sistemas o bancos de criterios de evaluación en relación al desarrollo sustentable en diversas áreas y sectores industriales, bases de datos de gran utilidad para agilizar los procesos de evaluación de alternativas de planeación.
4. También se ha identificado la necesidad de establecer rangos para los valores de los distintos indicadores, donde según los distintos planteamientos los valores mínimos debería ser la restricción legal y lo máximo el objetivo sensible, considerando los aspectos locales. Sin embargo gran parte de los criterios sostenibles no disponen actualmente de legislación aplicable, medias existentes o máximos a alcanzar.
5. La creación de una base de datos que posibilite el establecimiento de distintas escalas de aproximación hacia un modelo de desarrollo sustentable para sectores industriales específicos, junto a la asignación de competencias a los involucrados en los proyectos puede resultar un valor añadido fundamental en la consecución de un desarrollo sostenible.
6. Por otro lado, la aplicación práctica de un modelo de evaluación sostenible a un proyecto real sería una línea de investigación práctica, que bien podría aportar valiosa información para mejorar las metodologías. No solo aplicar este tipo de metodologías a la fase de diseño y selección, sino también evaluar y monitorizar la evolución de los criterios a lo largo de su vida útil con el fin de realizar un control real de los indicadores en el tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Leonard Goodsteini, Timothy Nolan, y William Pfeiffe, *Applied Strategic Planning – How to develop a plan that really works*. EE.UU: McGraw-Hill, 2005.
- [2] Gro Harlem Brundtly, "Our Common Future," , 1987, Informe para la ONU.
- [3] UN Division for Sustainable Development, "Informe de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sustentable," DSD, Ney York, ISBN 92-1-304231-0, 2002.
- [4] S Polasky, S R Carpenter, C Folke, y Bonnie Keeler, "Decision-making under great uncertainty: environmental management in an era of global change," *Trends in Ecology y Evolution*, vol. 26, no. 8, pp. 398-405, Agosto 2011.
- [5] Leigh Buchanan y Yrew O’Connell, "A Briefft History of Decision Making," *Harvard Business Review*, vol. 38, pp. 32-41, Enero 2006.
- [6] O. G. León, *Tomar decisiones difíciles*, Segunda ed.: Universidad Autónoma de Madrid, 2001.
- [7] S. J. De Boer, *Decision Methods y Techniques in Methodical Engineering Design*.: Academisch Boeken Centrum, 1989, Tesis Doctoral.
- [8] Russell L. Ackoff, *Ackoff’s Best: His Classical Writings on Management*.: John Wiley y sons, 1999.
- [9] Carlos Romero, *Análisis de las Decisiones Multicriterio*. Madrid: Isdefe, 1196.
- [10] C. Zopounidis y P. M. Pardalos, *Hybook of Multicriteria Analysis*.: Springer, 2010.
- [11] S. Ríos, S. Ríos-Insúa, y M. Ríos-Insúa, *Procesos de Decisión Multicriterio*. Madrid: Eudema, 1989.
- [12] V. Belton y J. Hodjkin, "Facilitators, decision makers, D.I.Y users: Is intelligent multicriteria decision support for all feasible or desirable?," *European Journal of Operations Research*, no. 113, pp. 247-260.
- [13] J.C. Leyva-López y E. Fernández Gonzales, "A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology," *Journal of Operational Research*, no. 148, pp. 14-27, 2003.
- [14] Carlos Romero, *Teoría de la decisión Multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones*. Madrid: Alianza editorial, 1993.

- [15] Europe Cooperation Office. (2005) Sustainable Development Evaluation - Guidelines. [Online]. [http://ec.europa.eu/euroaid/avaluation/methodology/tools/too\\_cri\\_how\\_es.htm](http://ec.europa.eu/euroaid/avaluation/methodology/tools/too_cri_how_es.htm)
- [16] T. Stewart y L. Scott, "A scenario-based framework for multi-criteria decision analysis in water resources planning," *Water Resource Research*, no. 31, pp. 2835-2846, 2005.
- [17] A. Guitouni y J.M Martel, "Tentative Guidelines for Select a MCDA method," *Journal of Operational Research*, no. 109, pp. 501-502, 1998.
- [18] B. Roy, "To Better Respond to the Robustness Concern in Decision Aiding: Four Proposals Based on a Twofold Observation," in *Hybook of Multicriteria Analysis*, Z. Constantin y P.M Pardalos, Eds.: Springer, 2010, ch. 1, pp. 3-23.
- [19] B. Roy, "Robustness in operational research y decision aiding: A multi-faceted issue," *European Journal of Operational Research*, vol. 3, no. 200, pp. 629-638, 2010.
- [20] B. Roy, "A missing link in operational research decision aiding: robustness analysis," *Found. Comput. Decis. Sci.*, vol. 23, no. 3, pp. 141-160, 1998.
- [21] M. G Morgan, *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk y Policy Analysis*.: Cambridge University Press, 1990.
- [22] J. Pomerol, "Scenario development y practical decision making under uncertainty," *Decisions Support Systems* , no. 31, pp. 197-204, 2001.
- [23] B. Bescharati y S. Azarm, "Worst case deterministic feasibility y multiobjective robustness measures for engineering design optimization," *International Journal of Reliability y Safety*, vol. 1, pp. 40-58, 2006.
- [24] R. Keeney y H. Raiffa, *Decisions with Multiple Objectives: Preferences y Values Tradeoffs*. New York: Wiley, 1976.
- [25] T. Saaty, *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [26] W. Edwards y F. H. Barron, "SMARTS y SMARTER: improves simple methods for multiattribute utility measurement," *Organizational Behaviour y Human Decision Processes*, vol. 60, no. 1, pp. 306-325, 1994.
- [27] F. Lootsma y Shuitj, "The Multiplicative AHP, SMART y ELECTRE in a common context," *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, vol. 6, pp. 185-196, 1997.
- [28] B. Roy, "Decision-Aid y Decision Making," *European Journal of Operational Research*, vol. 45, pp. 324-331, 1991.

- [29] B. Roy y D. Vyerpooten, "An overview on "The European school of MCDA: Emergence, basic features y current works", " *European Journal of Operational Research*, vol. 99, no. 1, 1997.
- [30] J. P. Vinke y J.P. Brans, "A preference ranking organization method-(the PROMETHEE method for multiple criteria decision-making)," *Management science*, vol. 31, no. 6, pp. 647-656, 1985.
- [31] J. P. Brans y B. Mareschal, "The PROMETHE methods for MCDM; The PROMCALC, GAIA y BANKADVISER software," in *Readings in MCDA*, Bana y Costa, Eds. Berlin: Springer-Verlang, 1990.
- [32] C. Bana, C. A. Costa, y J.C. Vansnick, "The MACBETH approach: Basic ideas, software y an application," in *Advances in Decision Analysis*, N. Meskens y M. Roubens, Eds.: Kluwer Academic Publishers, 1999, pp. 131-157.
- [33] M. Mesarovic y E. Pestel, *La Humanidad en la encrucijada: el segundo informe del Club de Roma.*, 1975.
- [34] D.H. Meadows, *Los límites del crecimiento*. Mexico: Fondo de Cultura Economica, 1972.
- [35] Naciones Unidas. (2009) Programa 21. [Online]  
[http://www.un.org/esa/dsd/agenda21\\_spanish/](http://www.un.org/esa/dsd/agenda21_spanish/)
- [36] IUCN, "World Conservation Strategy," 1980.
- [37] M. P. Martín de Agar, "Incorporación de factores escologicos y ambientales en la ordenacion del territorio," *Estudios Territoriales*, no. 6, pp. 157-168, 1982.
- [38] W. C. Clark y R. E. Munn, *Sustainable Development of the Biosphere*. Cambridge: University Press, 1986.
- [39] R. K. Turner, *Sustainable environmental economics y management. Principes y practice*. Londres y Nueva York: Belhaven Press, 1993.
- [40] D. W. Pearce y R. K. Turner, *Economia de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente*. Madrid: Celeste Ediciones, 1995.
- [41] D. W. Pearce, *Blueprint for a green economy*. Londres: Earthscan Publications. Ltd., 1989.
- [42] D. W. Pearce, *Sustainable Development. Economics y Environment in the third worl*. Londres: Edward elgar Publishing. Ltd., 1990.
- [43] R. Constanza y H. E. Daly, "Natural capital y sustainable developmet," *Conservation Biology*, vol. 6, no. 1, pp. 37-46, Marzo 1992.

- [44] D. W. Pearce y G. D. Atkinson, "Measuring Sustainable Development," 1995.
- [45] D. W. Pearce, "Economics, equity y sustainable development," *Futures*, vol. 20, no. 6, pp. 598-605, diciembre 1988.
- [46] W. K. Reilly, "Crecimiento económico y mejoría ambiental," *Facetas*, no. 93, pp. 19-24, 1991.
- [47] S. Sepúlveda, *Metodología para estimar el Nivel de desarrollo Sostenible a en Espacios Rurales*, 4th ed. Costa Rica: IICA, 1998.
- [48] L. Jimenez, *Desarrollo sostenible: transición hacia la co-evolución global*. Madrid: Pirámide, 2000.
- [49] B. Giddings y *et al*, "Environmental, economy y society: Fitting them together into sustainable development," *Sustainable Development*, vol. 10, pp. 187-196, 2002.
- [50] P. Selman, "A sideways look at Local Agenda 21," *Journal of Environmental Policy & Planning*, vol. 2, pp. 39-53, 2000.
- [51] H. Daly, *Steady-State Economics*. Londres: Earthscan, 1992.
- [52] J. A. Herce, "Economía y medio ambiente. Crecimiento Sostenible," *ICE. Revista de economía*, no. 14, pp. 25-31, 1992.
- [53] H. Daly y J. Cobb, *Para el bien común*. Mexico: Fondo de Cultura Económica, 1993.
- [54] S. R. Carpenter, "Development y Strong Sustainability," in *Congreso Internacional de Tecnologías Sostenible*, 1995, pp. 49-60.
- [55] L. M. Jimenez, *Desarrollo Sostenible y Economía Ecológica. Integración medio ambiente-desarrollo y economía-ecología*. Madrid: Síntesis, 1996.
- [56] J. M. Hartwick, "Intergenerational Equity y Invest of rents exhaustive resources," *American Economic Review*, vol. 67, no. 5, 1977.
- [57] R. Solow, "On the Intergenerational allocation of natural resources," *Scyinvian Journal of Economics*, vol. 88, pp. 143-154, 1986.
- [58] M. O'Connor, "Valuation for Sustainable Development. Methods y Policy Indicators," *Advances in Ecological Economics Series*, 1998.
- [59] J.A Ivars, "La planificación turística de los espacios regionales en España," Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante, 2001.

- [60] G. Miller, "The Development of Indicators of sustainable tourism: results of Delphi survey of tourism researchers," *Tourism management*, no. 22, pp. 351-362, 2001.
- [61] O. H. Barda, J. Dupuis, y P. Lencioni, "Multicriteria location of thermal power plants," *European Journal of Operational Research*, no. 45, pp. 332-346, 1990.
- [62] Gallopin G., "Indicators y their use: Information for decision-making," in *Sustainability indicators: report of the Project on indicators of Sustainable Development*. SCOPE, B. Moldan y S. Bilharz, Eds.: John Wiley & Sons., 1997, pp. 13-27.
- [63] P. Hardi y T. Zdan, "Assessing Sustainable Development. Principles y Practice," in *Report of the conference on Sustainable Development Performance Measurement*, Bellagio. Italia, 1997.
- [64] MMAE, "Indicadores ambientales. Una propuesta para España," Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, Ministerio del Ambiente de España, 2001.
- [65] A. Hammond *et al*, *Environmental indicators: A systemic approach to measuring y reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development*. Washington: World Resources Institute, 1995.
- [66] OCDE, *Cuerpo de indicadores para revisiones de desempeño medioambiental de la OCDE*.: OECD Environmental Monographs, 1998.
- [67] UNCSO, *Indicators of Sustainable Development: Framework y Methodologies*. New York: United Nations Commission on Sustainable Development, 1996.
- [68] World Bank, *World Development Indicators 2006*. Washington, DC.: Oxford University Press, 2006.
- [69] INEGI, *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*., 2006.
- [70] FAO, *Livestock & Environmental, Finding a Balance*, Suffolk, Ed. Reino Unido, 2001.
- [71] L. Mortensen, *The Driving Force-State-Response framework used by the Commission on Sustainable Development*., 1997.
- [72] Carlos Romero, "Multicriterio decision analysis y environmental economics: An approximation," *European Journal of Operational Research*, no. 96, pp. 81-91, 1997.
- [73] Carlos Romero, *Economía de los recursos ambientales y naturales*, Alianza Editorial, Ed. Madrid, 1997.



- [74] R. P. Hämäläinen y R. Karjalainen , "Decision Support for risk analysis in energy policy," *European Journal of Operational Research*, vol. 56, pp. 172-183, 1992.
- [75] M. Jones, C. Hope, y R. Hughes, "A multi-attribute for the study of UK energy policy," *Journal of the Operatonal Research Society*, no. 41, pp. 919-929, 1990.
- [76] T. Kagazyo, M. Kaneko, y K. Hijikata, "Methodology y evaluation of priorities for energy y environmental reseach projects," *Energy*, no. 22, pp. 121-129, 1997.
- [77] E. Georgopoulou, L. Lalas, y D. Papagiannakis, "A multicriteria decision aid approach for energy planning problems: the case of the renewalble energy option," *European Jouernal of Operational Research*, no. 103, pp. 38-54, 1997.
- [78] J. Siskos y P. Hubert, "Multi-criteria analysis of the impacts of energy alternatives: A survey y new comparative approach," *European Journal of Operational Research*, no. 13, pp. 278-299.
- [79] E. Georgopoulou, Y. Sarafidis, y D. Diakoulaki, "Design y impletation of a group DSS for sustaining renweable energies explotation," *European Journal of Operational Research*, no. 109, pp. 483-500, 1998.
- [80] C. Boone, H. Howes, y B. Reuber, "Ontario Hydro's experience in linking sustaninable development, full cost accounting, y environmentla assesment," in *Proceedings of IAEA Second Research Coordination Meeting on Comparative Health y Evironmental Risk of Nuclear y other Energy Systems*, Atenas, Grecia, 1995.
- [81] B. F. Hobbs y P. M. Meier, "Multicriteria methods for resourse planning: An experimental comrison," *IEEE Transactions on Power Systems*, no. 9, pp. 1811-1817, 1994.
- [82] B. F. Hobbs y G. T. Horn, "Building public confidence in energy planning: a multimethod MCDM approach to demy-side planning at BC gas," *Energy Policy*, no. 25, pp. 357-375, 1997.
- [83] J.S. Dyer y R. K. Sarin, "Mesurable multiattribute utility functions," *Operations Research*, 1979.
- [84] U. R. Fritsche, "Modeling externalities: Cost-effctiveness of reducting environmental impacts," in *Integrated electricity resource planning*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1994.
- [85] A. Stringling, "Multicriteria mapping: Mittigating the problems of environmental valuation?," Science Policy Research Unit, University of Sussex, 1995.
- [86] S. Mirasgedis y D. Diakoulaki, "Multicriteria analysis vs. externalities esesment for the comparative evaluation of energy generation systems," *European Journal of Operational*

- Research*, no. 102, pp. 364-379, 1997.
- [87] B. F. Hobbs, "Energy vs. the environmental," *OR/MS Today*, Diciembre 1996.
- [88] S.H. Carpenter, "Scenarios for ecosystem services: an overview," *Ecology Society Journal*, vol. 11, no. 29, 2006.
- [89] H. Kahn y A.J. Weiner, *The Year 2000: A framework for speculation on the next thirty-three years*. New York: The Macmillan Co., 1967.
- [90] J.A. Ogilvy, *Creating Better Futures: Scenario Planning as a Tool for a Better Tomorrow.*: Oxford University Press, 2002.
- [91] Kees Van der Heijden, *Scenario. The art of strategic conversation*, segunda ed. Inglaterra: Wiley & sons, 2005.
- [92] B. Keeping y B. Wynne, "Technical analysis of the IASA energy scenarios," *Nature*, no. 312, pp. 691-695, 1984.
- [93] S. Ney y M. Thompson, "Cultural discourses in the global climate change debate," in *Society, behaviour, y climate change mitigation*, E. Jochem, J. Sathaye, y D. Bouille, Eds. Holya: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [94] R. J. McLain y R.G. Lee, "Adaptative management: promises y pitfalls," *Environmentla Management*, vol. 20, no. 4, pp. 437-448, 1996.
- [95] M. Godet, *Prospectivas y planificacion*, CPE. Economia, Ed. Paris, 1985.
- [96] P. Schwartz, *The Art of the Long View: Planning for the Future in an IUncertain World*. New York: Currency Doubleday, 1996.
- [97] L. Fabey y R. M. Ryall, *Learning from the future: Competitive foresight scenarios*. New York: John Wiley y Sons, 1998.
- [98] I. Licha, *La construccion de escenatios: herramientas de la gerencia social*. Washington DC: INDES. BID, 2000.
- [99] Arie De Geus, "Planning as Learning," vol. 66, no. 2, pp. 70-74, 1988.
- [100] S. A. Berumen, "An Approach to local y regional competitiveness," *Cuadernos de Administración*, no. 29, pp. 13-32, 2005.
- [101] R. Nelson y S. G. Winter, "In search of a useful theory of innovation," *Research Policy*, vol. 1, no. 6, pp. 36-76, 1977.

- [102] M. A. De Vicente, *Ayda multicriterio a la decision: problematica de los criterios en los metodos de sobrecalificacion*, Dykenson, Ed. Madrid, 1999.
- [103] P. Goodwin y G. Wright, *Decision Analysis for Management Judgement*, Tercera ed., Wiley, Ed. Chichester, 2004.
- [104] Paul Schoemaker, "When y how to use scenario planning: A heuristic approach with illustration," *Journal of Forecasting*, vol. 10, no. 6, pp. 549-564, 1991.
- [105] B.H., Salt, D.A Walker, *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems y People in a Changing World.*: Isly Press, 2006.
- [106] R.J. Lempert, "A general, analytic method for generating robust strategies y narrative scenarios," *Management Science*, no. 52, pp. 514-528, 2006.
- [107] S.H. Schneider, "Climate change: do we know enough for policy actions?," *Science y Eng. Ethics*, vol. 12, pp. 607-636, 2005.
- [108] G. Peterson, G. S. Cumming, y S. Carpenter, "Scenario Planning: a Tool for Conservation in a Uncertainly World," *Conservation Biology*, vol. 17, no. 2, pp. 358-366, 2003.
- [109] P Wack, "Scenarios. Uncharter waters ahead," *Harvard Business Review*, vol. 63, no. 5, 1985.
- [110] T. Ritchey, "Problem structuring using computer-aided morphological analysis," *Journal of the Operational Research Society* , no. 57, pp. 792-801, julio 2006.
- [111] P. Schwartz y J. Ogilvy, "Plotting your scenarios. In: Fahey L y Ryall RM (eds). Learning from the Future: Competitive Foresight Scenarios Advantage through Scenario Planning. John Wiley & Sons: New York, pp 57-80.," in *Learning from the Future: Competitive Foresight Scenarios Advantage through Scenario Planning*, L Fahey y RM Ryall, Eds. New York: John Wiley & Sons, 1998, pp. 57-80.
- [112] G. Coyle, *Practical Strategy: Structured Tools y Techniques.*: Pearson Education, 2007.
- [113] G. Montibeller, H. Gummerb, y D. Tumidei, "Combining Scenario Planning y Multi-Criteria Decision Analysis in Practice," *Operational Research Group*, 2007.
- [114] P. Goodwin y G. Wright, "Enhancing strategy evaluation in scenario planning: a role for decision analysis," *Journal of Management Studies*, vol. 38, no. 1, pp. 1-16, 2001.
- [115] I. Durbach y T. J. Stewart, "Integrating scenario planning y goal programming," *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, no. 12, pp. 261-271, 2003.

- [116] O. Hoegh-Gulberg, "Assisted colonization y rapid climate change," *Science*, no. 321, pp. 345-346, 2008.
- [117] J. P. Brans y B. Mareschal, "PROMETHEE Methods," in *Multicriteria Decision Analysis. State of the Art Surveys*, J. Figueira, S Greco, y M. Ehrgott, Eds.: Springer, 2005, ch. 5.
- [118] P. T. Harker, "The imcomplete pairwise comparition in the analytic hierarchy process," *Mathematical Modelling*, no. 9, pp. 937-948, 1987.
- [119] R. T. Ávila Mogollon, "Proyecto Regional Santiago. Chile 2000. Informacion sobre Tierra y Aguas para un desarrollo agricola sostenible," Proyecto FAO, Santiago de Chile, 1996.
- [120] M. T. Escobar y J.M. Moreno-Jimenez, "Problemas de gran tamaño en el proceso AHP: aplicacion del método a un problema simplificado del sistema nacional de regadios," *Estudios de Economía Aplicada*, 1997.
- [121] L. Large-Filho, "Venezuela:Iniciativa para la Integracion de la Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA)," Caracas: Seleccion de Municipios para Desarrollo Local, 2004.
- [122] L. Large-Filho y A. Darling, "Establishing priorities for the preservation of historic cities," Inter-American Development Bank, Washington, 2004.
- [123] R.R. Keeney, *Value-focused thinking: A Path to cretive decision making*. Cambridge: Harvard University Press, 1992.
- [124] T. L. Saaty, "Axiomatic foundation of the analytic process," *Management Science*, vol. 7, no. 32, pp. 841-855, 1986.
- [125] C. K. Murphy, "Limits on the analytic hierarchy process from its consistency index," *European journal of Operational Research*, no. 65, pp. 138-139, 1993.
- [126] W. C. Wedley, B. Schoner, y T. S. Tang, "Starting rules for incomplete comparisons in the analytic hierarchy process," *Mathematical y Computer Modeling*, no. 17, pp. 93-100, 1993.
- [127] R.M Ávila, "El AHO y su uso para determinar el uso de las tierras. El caso de Brasil," FAO, Santiago de Chile, Informe Tecnico No. 2 Proyecto GCP/RLA/126/JPN, 2000.
- [128] C. Macharis, J. Springael, K. De Brucker, y A. Verbeke, "Promethee y AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.Strenthening Promethee with ideas of AHP," *European Journal of Operational Research*, no. 153, pp. 307-319, 2004.
- [129] J. P Brans y P. Vincke, "A preference ranking organisation method: the PROMETHEE method for MCDM," *management Science*, vol. 31, no. 6, pp. 647-656, 1985.

- [130] Haralambopoulos D. A. y H. Polatidis, "Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework," *Renewable Energy*, no. 28, pp. 961-973, 2003.
- [131] J. C. Scott, *Seeing like a state: how certain schemes to improve the human condition have failed*. New Haven, Connecticut: Yale University Press, 1998.
- [132] J. Fernández, J.M López, P. Arroyo, y E. Bernal, *El análisis coste-beneficio y su vigencia relativa en la valoración de grandes proyectos hidráulicos*, Departamento de Análisis Económico, Ed.: Universidad de Zaragoza, 1996.
- [133] J.R.E Harger y F.M Meyer, "Definition of indicators for environmentally sustainable development," *Chemosphere*, vol. 33, no. 9, 1996.
- [134] K. Ishikawa, *¿Qué es control de calidad? La modalidad japonesa*. Buenos Aires, Argentina: Norma, 1985.
- [135] Visual Decision Inc. (2000) Decision Lab 2000 Executive version. Software.
- [136] Ph. Vickle, "Robust solutions y methods in decision aid," *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, no. 8, pp. 181-187, 1999.
- [137] Real Academia Española, *Diccionario de la lengua española*, Vigésima segunda ed., 2009.
- [138] University of Baltimore. (2009) Herramientas para el Análisi de Decisión: Análisis de Decisiones Riesgosas. [Online]. <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640S/SpanishP.htm>
- [139] H. Aissi, C. Bazgan, y D. Vyerpooten, "Min-max y min-max regret versions of combinatorial optimization problems: A survey. European Journal of Operational Research," *European Journal of Operational Research*, vol. 2, no. 197, pp. 427-438, 2009.
- [140] R. L. Keeney y K. Nair, "Evaluating potential nuclear power plant sites in the Pacific Northwest using decision analysis," in *Siting Energy Facilities*. New York: Academic Press, 1980.
- [141] C. Boone, H. Howes, y B. Reuber, "Ontario Hydro's experience in linking sustainable development, full cost accounting, an environmental assesment," in *Proceedings of the IAES*, 1995.