

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

Departamento de

Ingeniería Industrial

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**“Estudio comparativo multicriterio para la toma de decisiones  
para la localización del parque solar fotovoltaico en la Empresa  
Eléctrica de Ciego de Ávila”**

**Autor del trabajo:** Beatriz Abad Ferras

**Tutor del trabajo:** Dr.C Javier Alfonso Asencio García

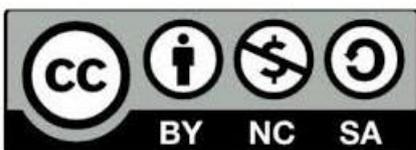
Santa Clara, junio, 2018  
Copyright©UCLV



Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

## **PENSAMIENTO**

Nunca te canses de intentar que tu vida sea mejor, los grandes cambios requieren de pequeños pero constantes esfuerzos.

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi papá, que siempre me ha dado fuerzas para seguir adelante.

A mi mamá, a mi hermano y abuelo, por su inmenso amor, dedicación, apoyo, comprensión, sacrificio y confianza.

A Robe, a tía Doraisy y a mis abuelos Daldo y Milagro que los quiero mucho.

A mí tío Eddy y a mi tía Berenice, Daniel y mis primas.

A todos los vecinos del pasillo que se mantuvieron pendientes de mí todo el tiempo.

A todos los que de una forma u otra se preocuparon por mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis profundos agradecimientos en cada etapa del desarrollo de este ciclo educativo al claustro de profesores de la carrera de ingeniería industrial

A mi mamá, a mi hermano y a mi abuelo por el incansable incondicional apoyo brindado en estos años de sacrificio, por su comprensión y guía en la conjunción de mis objetivos.

Este trabajo es el resultado del apoyo de diferentes personas sin las cuales no habría sido posible culminarlo con éxito, que compartieron conmigo el papel protagónico de su realización y por esta razón quiero dar mi más profundo agradecimiento:

Al profesor Dr.C Javier Alfonso Asencio García por guiar el trabajo. Sus conocimientos y capacidad de dirección fueron fundamentales para el buen desarrollo de la investigación.

A mi mamá, a mi abuelo y mi hermano por su apoyo incondicional en los momentos difíciles.

A los vecinos del pasillo por su confianza y apoyo brindado hacia mí.

A mi tía Bery, y a tío Eddy que siempre se mantuvieron a mi lado y pendientes de los resultados.

A mi tío Daniel y a mis primas.

A Robe, a tía Doraisy y a mis abuelos Daldo y Milagro que me quieren mucho.

A Maire, María Teresa, Mujica, Michel, Elisa, y Cucho por su apoyo desinteresado.

A mis amistades por todo lo que compartimos y pasamos en estos cinco años de esfuerzo y sacrificio en especial a Yanaima y a Elianny.

A Keren porque además de pasar estos cinco años de mucho esfuerzo, compartimos la realización de este proyecto apoyándonos en todo momento.

A los profesores por todos los consejos y el tiempo dedicado a nuestra formación.

Al personal de la Empresa Eléctrica de Ciego de Ávila por su apoyo y buena atención en todo momento, en especial a Marialina directora de inversiones.

A todos los que de una forma u otra se preocuparon por mí e influyeron en el desarrollo de este trabajo de diploma.

A todos muchas gracias

## **RESUMEN**

Para apoyar la toma de decisiones en las empresas y garantizar que la misma se efectúe de forma rápida y eficiente se ha venido desarrollando un conjunto de herramientas matemáticas denominadas métodos multicriterios, que son procedimientos para seleccionar entre alternativas complejas la más idónea. La presente investigación está encaminada a facilitar la selección del mejor lugar para el montaje de un parque solar dentro de un grupo de locaciones posibles. Con el fin de apoyar este proceso de inversiones relativamente importante por ser una nueva fuente de generación eléctrica, se toma como objeto de estudio la empresa eléctrica de Ciego de Ávila cuyo propósito es generar, transmitir, distribuir y comercializar energía eléctrica de manera segura, confiable, eficaz y eficiente. Por esta razón se propone emplear dentro de los métodos multicriterios las técnicas: AHP y ELECTRE y comparar los resultados que brinden dichas técnicas. Estas herramientas han surgido durante las últimas décadas con el fin de hacer frente a la necesidad de agilizar y mejorar el proceso de toma de decisiones, debido a un entorno cada vez más dinámico y competitivo que obliga a tomar con agilidad decisiones basadas en múltiples criterios y caracterizadas por su complejidad y diversidad alternativa.

**Palabras claves:** toma de decisiones, métodos multicriterio, AHP, ELECTRE

**SUMMARY:**

To support decision making in companies and ensure that it is done quickly and efficiently has been developing a set of mathematical tools called multicriteria methods, which are procedures to select among complex alternatives the most suitable. The present investigation is directed to facilitate the selection of the best place for the assembly of a solar park within a group of possible locations. In order to support this relatively important investment process as it is a new source of electricity generation, the Ciego de Ávila electricity company whose purpose is to generate, transmit, distribute and commercialize electric power in a safe, reliable manner is taken as an object of study. , effective and efficient. For this reason, it is proposed to use the techniques AHP and ELECTRE within the multicriteria methods and compare the results provided by these techniques. These tools have emerged during the last decades in order to address the need to streamline and improve the decision-making process, due to an increasingly dynamic and competitive environment that requires making decisions based on multiple criteria and decisions with agility. characterized by its complexity and alternative diversity.

Keywords: decision making, multicriteria methods, AHP, ELECTRE

**ÍNDICE**

<b>Introducción .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>CAPÍTULO I. Marco teórico y referencial de la investigación .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Estrategia para la construcción del marco teórico referencial .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Teoría de la decisión .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1 Desarrollo histórico de la toma de decisiones .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Enfoque Multicriterio vs Monocriterio .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4 Métodos Multicriterios. Recorrido histórico .....</b>	<b>13</b>
<b>1.5 Métodos Multicriterio Continuos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.6 Métodos Multicriterios Discretos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.6.1 La Escuela Americana .....</b>	<b>17</b>
<b>1.6.2 La Escuela Europea .....</b>	<b>19</b>
<b>1.6.3 Otros métodos de decisión multicriterio discretos .....</b>	<b>20</b>
<b>1.7 Matriz DAFO del enfoque multicriterio .....</b>	<b>24</b>
<b>1.7.1 Fortalezas .....</b>	<b>24</b>
<b>1.7.2 Debilidades .....</b>	<b>25</b>
<b>1.7.3 Oportunidades .....</b>	<b>25</b>
<b>1.7.4 Amenazas .....</b>	<b>25</b>
<b>1.8 Conclusiones Parciales .....</b>	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO II. Procedimiento metodológico para la toma de decisiones con enfoque multicriterio .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 Formulación del problema .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 Métodos de Pre – análisis .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3 Proceso de normalización y homogenización .....</b>	<b>30</b>
<b>2.4 Cálculo de los pesos de los criterios .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5 Aplicación de los métodos multicriterio .....</b>	<b>34</b>
<b>2.5.1 Método de la escuela americana Proceso analítico jerárquico .....</b>	<b>35</b>
<b>2.5.2 Método de la escuela europea ELECTRE .....</b>	<b>37</b>

2.6 Conclusiones parciales.....	39
<b>CAPÍTULO III. Aplicación del procedimiento metodológico para la toma de decisiones con enfoque multicriterio .....</b>	<b>41</b>
3.1. Formulación del problema .....	41
3.2. Aplicación de métodos de pre-análisis.....	45
3.3. Proceso de normalización y homogenización .....	46
3.4. Cálculo de los pesos de los criterios.....	46
3.5.1. Aplicación del método de la escuela americana: AHP .....	47
3.5.2. Aplicación del método de la escuela europea: ELECTRE .....	48
3.6. Comparación de resultados .....	49
3.7. Conclusiones parciales .....	49
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>51</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>55</b>

## INTRODUCCIÓN

En el entorno económico y empresarial, las organizaciones, a través de sus directivos, se ven obligadas constantemente a tomar decisiones para hacer frente al conjunto de problemas y oportunidades que se presentan. Durante las últimas décadas debido a la globalización, el desarrollo tecnológico y la gran difusión de la información, el valor para las empresas de poseer un centro de decisiones ágil y eficaz ha aumentado considerablemente. Si el centro decisorio no elige la forma correcta de actuación, puede exponer a la empresa al fracaso, por el contrario, si es capaz de tomar las decisiones adecuadas y ser flexible y adaptativo al mismo tiempo, la empresa podría garantizar su supervivencia, obteniendo ventajas competitivas sostenibles y activos difíciles de imitar por sus competidores. Uno de los principios fundamentales para el logro de estos fines es el uso de métodos cuantitativos que son herramientas que reducen la subjetividad en la toma de decisiones mediante la creación de una serie de filtros de selección y ayuda a la elección entre alternativas complejas. Estas decisiones difíciles se caracterizan por observar intereses contrapuestos, tener elementos de incertidumbre, envolver distintas personas en la decisión o bien poseer elementos difícilmente valorables.

Precisamente para mostrar estas bondades del uso de los métodos cuantitativos como herramientas para la toma de decisiones en las organizaciones, en el trabajo se utiliza un enfoque muy particular relacionado con la pluralidad en la decisión.

La empresa eléctrica de Ciego de Ávila, subordinada al Ministerio de Energía y Minas tiene el propósito de generar, transmitir, distribuir y comercializar energía eléctrica de manera segura, confiable, eficaz y eficiente, la misma se encuentra inmersa en un proyecto de inversión en el montaje de parques solares fotovoltaicos para lo que resulta necesario seleccionar entre varias locaciones, la más idónea, además no cuenta con la aplicación de métodos matemáticos para apoyar la toma de decisiones, todos estos elementos anteriormente abordados resumen la **situación problemática** de la investigación.

En estos términos se plantea como **problema científico**: establecer un estudio comparativo de las escuelas que abordan los procedimientos multicriterio con el propósito de realizar un proceso de toma de decisiones más objetivo y pluralista.

El **objetivo general** de la investigación es desarrollar un procedimiento de trabajo que permita mejorar el desempeño de la organización mediante la aplicación de métodos multicriterio que posibilite una mejor conformación del proceso decisional para la

organización. Este objetivo general fue desglosado en los **objetivos específicos** siguientes:

1. Establecer la base para el marco teórico-referencial que sustente la investigación a partir del análisis de las tendencias actuales sobre los métodos multicriterio y su aplicación en las organizaciones.
2. Construir el procedimiento propuesto para encontrar la mejor solución al problema equivalente integrando diferentes herramientas de acuerdo a los casos que se pueden presentar.
3. Aplicar el procedimiento en una organización del territorio tomada como caso de estudio.

Su valor práctico radica en la factibilidad y pertinencia demostrada de poder implementar el procedimiento con resultados satisfactorios y de perspectiva alentadora para su continuidad en otros tipos de organización.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron métodos de análisis y síntesis, método general de solución de problemas, la metodología de métodos multicriterio, herramientas matemáticas específica y trabajo con expertos entre otros.

El valor teórico de esta investigación radica en sistematizar un conjunto de los elementos más relevantes sobre el tema de estudio, permitiendo su uso como un documento de consulta para aquellas personas interesadas en la aplicación de Métodos de Decisión Multicriterio; así como el conjunto de posibilidades de adaptación y de aplicación a diversas situaciones. Igualmente se tratará el enfoque multicriterio desde dos posiciones vanguardistas: la escuela americana y la europea.

El valor metodológico se manifiesta en la posibilidad de integrar diferentes conceptos y herramientas en los procedimientos desarrollados para evaluar el desempeño de la organización. De la misma forma, los procedimientos y experiencias de este trabajo pueden ser incorporadas en la enseñanza de pregrado y postgrado de la disciplina Matemática Aplicada a las puertas de inicio del plan E.

El valor social radica en los beneficios tangibles e intangibles que implican la introducción de la alternativa seleccionada bajo condiciones competitivas que permitirá un mayor desarrollo para la empresa objeto de estudio.

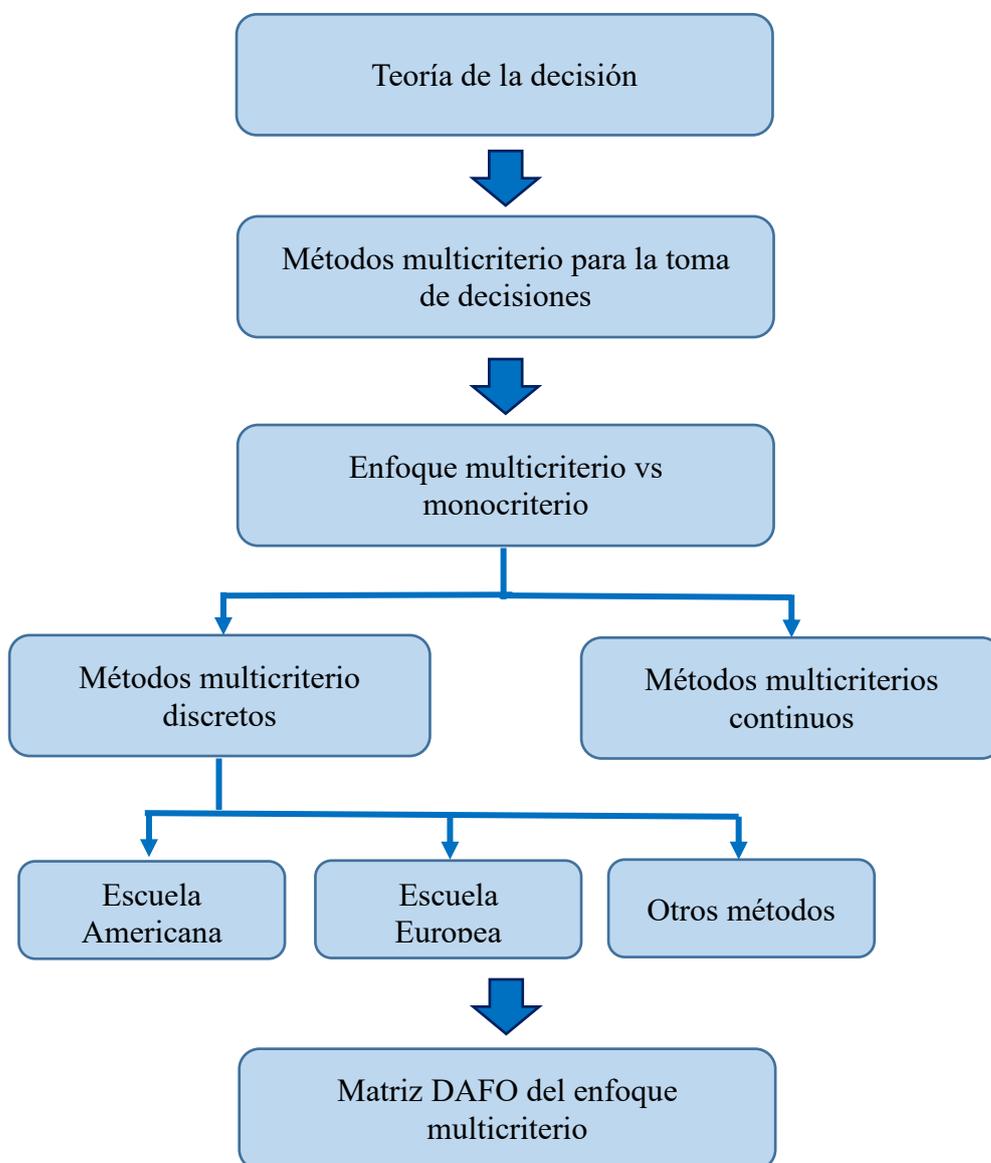
Con el fin de desarrollar y expresar en resultados los objetivos determinados esta tesis se estructuró de la forma siguiente: un Capítulo 1, donde se definen conceptos, métodos, antecedentes y una revisión bibliográfica de aspectos que para la comprensión del tema seleccionado son necesarios destacar; un Capítulo 2, donde se resume y explica la

metodología desarrollada, así como los aspectos necesarios para el desarrollo de la misma; un Capítulo 3, en el cual se muestra la puesta en práctica de esta metodología en un caso real, evidenciando su factibilidad; un conjunto de Conclusiones y Recomendaciones derivadas de la investigación; la Bibliografía consultada y una selección de Anexos como complemento del procedimiento desarrollado.

## CAPÍTULO I. Marco teórico y referencial de la investigación

### 1.1 Estrategia para la construcción del marco teórico referencial

El presente capítulo constituye un análisis crítico de la literatura especializada teniendo como objetivo mostrar la revisión bibliográfica que constituye la plataforma para sentar las bases teórico-prácticas de la investigación efectuada. Se consultó bibliografía especializada y actualizada, tanto nacional como internacional, analizando el criterio de varios autores sobre los temas a abordar, posibilitando una mejor comprensión de las temáticas utilizadas a lo largo de la investigación. La **figura 1** muestra el hilo conductor seguido en la construcción del marco teórico referencial de esta investigación.



**Figura 1.** Hilo conductor del marco teórico referencial

## **1.2 Teoría de la decisión**

La vida de las personas se fundamenta en torno a las decisiones que deben tomar frente a las situaciones cotidianas que se les plantean, tanto en el ámbito profesional como en el personal, y que estas permitan la máxima satisfacción.

La habilidad para tomar decisiones correctas es una tarea clave en cualquier aspecto de la vida, pero cobra especial relevancia cuando se trata de las decisiones dentro de una organización; por ello, los gerentes de las corporaciones son capacitados en técnicas metodológicas para elegir las mejores decisiones dentro de los límites de la racionalidad y de acuerdo con el tamaño o naturaleza de los riesgos involucrados. No obstante, la aplicación de la toma de decisiones en el ámbito organizacional es sólo una derivación de una corriente de pensamiento que se remonta al origen de la humanidad. Autores como Maldonado (2010) ponen de manifiesto la importancia de la toma de decisiones al afirmar que lo relativo a quién toma la decisión y cómo lo hace, son cuestiones que han servido de fundamento para formar sistemas de gobierno, de justicia y de orden social y parafrasean a Albert Camus, quien dice que “la vida es la suma de todas las elecciones”, para afirmar que la historia, por lo tanto, es igual a la acumulación de las elecciones de la humanidad.

El estudio de la toma de decisiones es una integración de los logros alcanzados por disciplinas tan diversas como las matemáticas, la sociología, la psicología, la economía y las ciencias políticas; por nombrar algunas. Los filósofos han profundizado en el significado de lo que nuestras decisiones dicen acerca de nosotros mismos y de nuestros valores. Los historiadores toman como objeto de estudio los momentos en que las decisiones de los líderes (y sus consecuencias) han significado cambios trascendentales para el orden regional e incluso mundial. La investigación del riesgo y el comportamiento organizacional proviene de un deseo más práctico: ayudar a las organizaciones a alcanzar mejores resultados.

En el entorno actual, en el que las decisiones en las organizaciones ya no sólo se limitan a un solo criterio (como pudiera ser su conveniencia económica o su pertinencia técnica), se busca involucrar a los expertos, a los interesados o a los afectados por la decisión en el proceso de discusión de los objetivos, en el análisis y determinación de los criterios y de su importancia relativa, y en la evaluación de las diferentes opciones o alternativas de acción. La toma de decisiones grupal permite aprovechar el conocimiento de los integrantes del grupo, promueve la discusión e integración de

varios puntos de vista e incrementa la aceptación de la decisión final, facilitando posteriormente su implementación. (Romero, 1996)

El proceso de toma de decisiones comprende las 5 primeras fases de cualquier proceso de resolución de problemas, el cual está compuesto por 7 etapas: definición del problema, identificación de las alternativas, determinación de los criterios, evaluación de las alternativas, elección de una opción, implementación de la decisión y evaluación de los resultados. (Pérez, 2013)

Las 5 etapas que componen el proceso de toma de decisiones, a su vez se agrupan en dos subprocesos, la estructuración y el análisis del problema.

En la fase de estructuración se define el problema a abordar, se indican las posibles alternativas y se determina el criterio o criterios a tener en cuenta (términos que se tratarán en el punto siguiente), estableciendo de esa forma si el problema a abordar va a ser de criterio único (solo se considera un criterio) o de criterios múltiples (se consideran como mínimo dos criterios).

Una vez concluida la fase de estructuración se pasa a la fase de análisis y estudio. En esta fase se evalúan las alternativas para posteriormente elegir la mejor opción. El análisis puede realizarse de forma cualitativa o cuantitativa. Se considera que el análisis es cualitativo cuando este se basa fundamentalmente en la intuición, experiencia y razonamiento de aquellos que participan en el proceso de elección, debido a que los datos de que se dispone son confusos e incompletos. Se realiza un análisis cuantitativo cuando las decisiones se basan en hechos y datos relacionados con el problema, a partir de los cuales se establecen relaciones matemáticas en las que describen los objetivos, restricciones y relaciones existentes en el problema. En esta fase también corresponde la elección de la mejor alternativa de las que se han hallado, que no por ser la mejor implica que sea la solución óptima al problema.

La bondad de la alternativa seleccionada dependerá de los datos empleados durante todo el proceso de toma de decisión. Puede establecerse la siguiente clasificación, según los datos considerados:

- Toma de decisiones bajo certidumbre: se conocen todos los datos de forma determinista.
- Toma de decisiones bajo riesgo: los datos son descritos mediante relaciones de probabilidad.
- Toma de decisiones bajo incertidumbre: cuando no se puede determinar el peso o relevancia de los datos considerados.

De esta manera se puede afirmar que cualquier proceso de decisión lleva implícito un determinado riesgo dependiendo de los datos considerados durante todo el proceso de decisión. A mayor objetividad y precisión en la información a considerar, menor riesgo supondrá la decisión tomada.

Por tanto en una decisión se deben tener en cuenta todos los factores que pueden influir, establecer comparaciones entre las distintas alternativas que se presentan y plantear los posibles escenarios que se pueden dar, para de esta forma tener una previsión de los efectos que la decisión que se va a tomar ocasionará en el futuro.

### **1.2.1 Desarrollo histórico de la toma de decisiones**

La toma de decisiones y su estudio se han caracterizado a lo largo del tiempo por el predominio de algunos enfoques. Actualmente varios de estos enfoques se han integrado en modelos que tratan de entender y mejorar el proceso y para obtener resultados más satisfactorios para el decisor: (Maldonado, 2010)

- 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.

Con el paso del tiempo, la toma de decisiones fue tomando importancia y comenzaron a desarrollarse teorías encaminadas a entender y controlar este proceso. Algunas de las aportaciones más representativas son las siguientes:

**Tabla 1:** Aportaciones teóricas a la toma de decisiones

Época	Científico	Aporte
1620	Francis Bacon	Declara la superioridad del razonamiento inductivo en la ciencia
1641	René Descartes	Propone que la razón es superior a la experiencia en términos de adquirir conocimiento y establece el marco para el método científico.
1654	Blaise Pascal y Pierre de Fermat	Desarrollan el concepto del cálculo de probabilidades para los eventos fortuitos.
1738	Daniel Bernoulli	Establece los fundamentos de la teoría del riesgo examinando eventos aleatorios.
1800	Carl Friedrich Gauss	Estudia la curva en forma de campana (descrita con anterioridad por Moivre) y desarrolla una estructura para entender la ocurrencia de eventos aleatorios.
1900	Sigmund Freud	Sugiere que las decisiones tomadas por los individuos están influenciadas por causas ocultas en su inconsciente.
1907	Irving Fisher	Introduce el Valor Presente Neto como una herramienta para tomar decisiones
1921	Francis Knight	Establece la distinción entre riesgo, en el cual la probabilidad del resultado puede ser conocida, e incertidumbre, en la cual es imposible conocer esta

		probabilidad.
1944	John von Newmann, Oskar Morgenstern	En su libro de Teoría de Juegos, describen la base matemática para la toma de decisiones económicas, bajo un enfoque de racionalidad y consistencia.
1947	Herbert Simon	Desecha la noción clásica de que los decisores actúan con perfecta racionalidad, dice que los costos de adquirir información hacen que los ejecutivos sólo tomen decisiones con una racionalidad limitada.
1952	Harry Markowitz	Demuestra matemáticamente cómo elegir un portafolio de opciones financieras cuyo retorno sea consistente.
1960	Edmund Learned, Roland Christensen, Kenneth Andrews.	Desarrollan el análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) como un modelo para la toma de decisiones cuando el tiempo es poco y las circunstancias son complejas.
1968	Howard Raiffa	En su libro Decision Analysis explica muchas técnicas fundamentales para la toma de decisiones, incluyendo árboles de decisión y el valor esperado cuando no se cuenta con información perfecta.
1970	John D. C. Little	Desarrolla la teoría que fundamenta y avanza la capacidad de los sistemas de soporte para la toma de decisiones.
1972	Irving Janis	Introduce el término “pensamiento grupal” que valora el consenso por encima del mejor resultado.
1984	Daniel Isenberg	Explica que los ejecutivos combinan el rigor de la planeación con la intuición cuando se enfrentan con situaciones con altos niveles de incertidumbre.
1995	Anthony Greenwald	Desarrolla The Implicit Association Test, que devela creencias y actitudes inconscientes que pueden afectar el juicio durante la toma de decisiones.
2005	Malcolm Gladwell	Explora la posibilidad de que las decisiones inmediatas son, en ocasiones, mejores que aquellas que se toman con base en análisis racionales.

**Fuente:** (Maldonado, 2010)

Es a principios de la década de los 70 del siglo XX cuando surge una línea que habría de marcar un cambio de paradigma en la toma de decisiones: el análisis de decisiones multicriterio.

### **1.3 Enfoque Multicriterio vs Monocriterio**

Los problemas de toma de decisiones durante mucho tiempo se han abordado desde la perspectiva monocriterio (un único criterio de decisión), pero este planteamiento poco a poco ha ido perdiendo protagonismo en beneficio de la perspectiva multicriterio (diversos criterios, a menudo en conflicto).

El planteamiento clásico de los problemas de toma de decisiones, se fundamenta en abordarlos considerando un único criterio de decisión. Este planteamiento se formula mediante una única función, llamada función objetivo y una serie de restricciones, que representan los recursos que son limitados y que influyen en la decisión. Para obtener la solución al problema de decisión planteado, la función objetivo se optimiza mediante técnicas matemáticas (maximizar, minimizar), respetando las limitaciones establecidas por las restricciones y se obtiene la mejor solución posible (solución óptima). (Pérez, 2013)

La formulación monocriterio ofrece una visión reducida, y un poco forzada o no natural de la realidad. En primer lugar la limitación más evidente que presenta es que el decisor solo considera un criterio para tomar su decisión, lo que condiciona el resultado, ya que no se valoran otros criterios importantes que pueden entrar en conflicto con el que se ha escogido para tomar la decisión, que suele ser el recurso más limitado. En la mayoría de problemas que se nos plantean, tanto los más sencillos aparentemente como los más complejos, hay más de un criterio que condiciona la elección. (Pérez, 2013) En segundo lugar hay que tener en cuenta la limitación que suponen las restricciones. Estas son fijas e inquebrantables lo que condiciona la solución y se aleja de la realidad, ya que a veces la relajación o el no cumplimiento estricto de alguna restricción pueden mejorar considerablemente la solución obtenida.

Teniendo en cuenta estas limitaciones, podemos afirmar que era necesario establecer un método en el cual se tuvieran en cuenta diversos criterios para tomar una decisión y que las restricciones planteadas fueran menos estrictas, para poder abordar los problemas de decisión de forma más natural y flexible. Hablamos de los problemas de toma de decisiones multicriterio (Multicriteria Decision Making).

Estos problemas de decisión se caracterizan porque tienen en cuenta al menos dos criterios de decisión, que suelen ser en la mayoría de casos contradictorios (el beneficio de uno supone la penalización de otro) y al menos dos alternativas de decisión. Además permiten reflejar las preferencias del decisor o grupo de decisores y estas se tienen en cuenta durante el proceso de elección.

Los métodos de toma de decisiones multicriterio han desarrollado una terminología propia y común, que incluye conceptos tales como:

**Criterios:** Los criterios de decisión,  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ , donde  $C_j \{j = 1, 2, \dots, n\}$ , son los parámetros que permiten reflejar las preferencias del decisor respecto a un atributo. Los criterios pueden presentarse de dos formas, criterios cuantitativos (evaluaciones numéricas) y cualitativos (no existe una unidad de medida, la medida es subjetiva). En la mayoría de problemas de decisión multicriterio resulta complicado establecer los criterios, no obstante, su determinación resulta un paso esencial en el proceso y deben cumplir una serie de requisitos para ser adecuados. (Jiménez, 2009), El concepto de criterio engloba los conceptos de objetivo, atributo y meta:

- **Objetivos:** delimitan los deseos que se quieren satisfacer, indicando las direcciones de mejora según las preferencias del conjunto decisor. Pueden considerarse como ideales inalcanzables.
- **Atributos:** son las características que definen a las alternativas y miden el grado de alcance o cumplimiento de un objetivo. Para cada alternativa se definen unos atributos que permiten definir la consecuencia de la decisión en relación con el sistema de preferencias del decisor. Los atributos siempre dan unos valores del decisor respecto a una realidad objetiva y se pueden expresar mediante una función matemática de variables de decisión, de tal forma que cada alternativa se puede caracterizar mediante un conjunto de medidas relacionadas con los objetivos del decisor.
- **Metas:** reflejan los ideales alcanzables. La alternativa que recogerá los atributos establecidos y pueda satisfacer los criterios, acercándose al máximo a los objetivos establecidos.

**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,  $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ , donde  $w_n \{n = 1, 2, \dots, n\}$ , es 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. Existen en la bibliografía diferentes formas de asignación de pesos, las más utilizadas se expondrán en el siguiente capítulo. (Sigüenza, 2017)

**Alternativas:** Las alternativas son acciones, soluciones o caminos posibles que pueden ser implantados como respuesta a una situación, y se caracterizan por estar dotadas con ventajas o inconvenientes con respecto a los criterios con los cuáles son evaluadas. Una alternativa es una opción factible, asequible, caracterizada por su desempeño con respecto a los criterios establecidos. El conjunto de las alternativas está definido como,  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ , donde  $A_i \{i= 1,2, \dots, m\}$  son cada una de las alternativas posibles. Cada conjunto de alternativas  $A$  son alternativas diferentes, excluyentes y exhaustivas. La identificación de alternativas es una parte esencial en la toma de decisiones. La decisión final no podrá alcanzar mejores resultados que lo que le permita la mejor alternativa del conjunto evaluado. (Vitoriano, 2007)

**Matriz de valoración o decisión:** Una vez establecidos los criterios y sus pesos asociados, 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  $a_{ij}$  que expresa una evaluación o juicio de la alternativa  $A_i$  respecto al criterio  $C_j$ . Esta evaluación puede ser numérica o verbal y se puede representar en forma de matriz; matriz de valoración o de decisión. Cada fila de la matriz expresa cualidades de la alternativa  $A_i$  respecto a los  $n$  criterios considerados. Cada columna de la matriz recoge las evaluaciones o juicios emitidos por el decisor de todas las alternativas respecto al criterio  $C_j$ . (Ms.C. Ing. Alina Díaz Curbelo, 2012)

**Tabla 2:** Matriz de decisión

		Criterios y pesos asociados					
		$C_1$	$C_2$	...	$C_j$	...	$C_n$
		$W_1$	$W_2$	...	$W_j$	...	$W_n$
Alternativas	$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1j}$	...	$a_{1n}$
	$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2j}$	...	$a_{2n}$
	...	...	...	Valoraciones	...	...	...
	$A_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	...	$a_{ij}$	...	$a_{in}$
	...	...	...	...	...	...	...
	$A_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mj}$	...	$a_{nm}$

**Fuente:** Elaboración propia

**Solución eficiente:** Un conjunto de soluciones es eficiente cuando está formado por soluciones factibles, tales que no existe otra solución factible que proporcione una mejora en un atributo sin producir un empeoramiento en al menos otro de los atributos. A esta solución se le denomina solución Pareto Eficiente en honor al economista italiano Vilfredo Pareto.

#### **1.4 Métodos Multicriterios. Recorrido histórico**

Como se ha expuesto en el punto anterior la característica más importante de la toma de decisión multicriterio, es que considera al menos dos criterios los cuales son al menos en principio contradictorios. No considera solo el criterio más restrictivo, permite tomar una decisión teniendo en cuenta todos los factores que influyen en ella. Esto permite reflejar, durante el proceso de elección, las preferencias de todos los individuos que participan en la decisión.

La metodología del análisis o toma de la decisión multicriterio no es novedosa ni ha surgido de un día para otro. Es el resultado de numerosas aportaciones, de índole científicas, que se han dado a lo largo de varios siglos. Vamos a realizar un recorrido, por los hechos más significativos que han marcado el camino de lo que hoy conocemos como toma de decisiones multicriterio.

El primer problema de decisión multicriterio conocido, fue el propuesto por el químico inglés J. Priestley (1733-1804) a B. Frankling (1706-1790) (Pérez, 2013) y entra en la categoría que hoy se conoce como métodos compensatorios, dentro de los problemas multicriterio discretos. Esta metodología se basaba en asignar pesos subjetivos a los diferentes criterios que influyen en la decisión. Se caracterizaba por tener en cuenta una pluralidad de puntos de vista, de opiniones y preferencias es la base de los procesos de elección o votación y es en este campo, donde se realizaron aportaciones importantes al análisis de decisión multicriterio. Podemos destacar las aportaciones de Ramón Llull, Nicolas Cusanos, el Marqués de Caritat de Condorcet y el Caballero Jean-Charles de Borda. (Maldonado, 2010)

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, se produjo un gran impulso en la problemática multicriterio gracias a la investigación económica. El punto de vista científico y gran parte de los aspectos prácticos del análisis de decisión multicriterio se fundamentan en trabajos y teorías económicas, como la teoría de la economía del bienestar y la teoría de la utilidad. La economía del bienestar es una rama del pensamiento económico que se propone incrementar el bienestar total o la utilidad total existente en una sociedad, maximizando la eficiencia económica con la cantidad de

recursos disponibles (Martínez, 2012). Está basada en gran parte en el óptimo de Pareto y tuvo bastante ímpetu a principios del siglo XX.

Vilfredo Federico Dámaso Pareto (1848-1923) proporcionó la definición de optimalidad que pasó a constituir el paradigma subyacente en los problemas de decisión. Considerando que no existe el óptimo absoluto, sino que para que un agente mejore otro debe empeorar (Pérez, 2013).

En los años veinte, cabe destacar la influencia que tuvo la Teoría de Juegos en el desarrollo del Análisis de Decisión Multicriterio. Es un área de la matemática aplicada que utiliza modelos para estudiar interacciones en estructuras formalizadas de incentivos (juegos) y llevar a cabo procesos de decisión. Estudia las estrategias óptimas así como el comportamiento previsto y observado de los individuos en los juegos. Se emplean para resolver situaciones en las que el comportamiento de un individuo, depende de las acciones tomadas por el resto. (Martínez, 2012)

Los padres de la Teoría de Juegos fueron Felix Edouard Justin Emile Borel (1871-1956) y John Von Neumann (1903-1957). Se considera a Borel como el iniciador de la teoría psicológica de juegos, pero el nacimiento de lo que hoy se conoce como Teoría de Juegos se remonta a un trabajo que éste publicó en 1921. Aunque Borel fue el iniciador, muchos historiadores suelen atribuir el origen de la Teoría de Juegos a un artículo de Neumann, que presentó oralmente en 1926 y publicó en 1928. Tras la publicación de este artículo, Neumann junto a Oskar Morgenstern publicaron un libro ampliando los resultados de Neuman, *Theory of Games and Economic Behavior* (Pérez, 2013).

Fue en la década de los años setenta cuando se produjo en gran parte de los países desarrollados un indiscutible progreso en el campo de la teoría de la decisión, con el surgimiento del llamado paradigma de decisión multicriterio, que declara que los agentes decisores pretenden buscar un equilibrio entre criterios de forma que la alternativa preferida satisfaga al máximo posible los criterios considerados (Maldonado, 2010). El paradigma multicriterio nace en cierta forma contrapuesto al paradigma de la optimización, según el cual, los diferentes criterios se integran en una única función que hay que maximizar.

Las técnicas multicriterio, como tal, han sido materia de investigación desde 1950. En 1960 adquirieron su propio vocabulario y la definición de la problemática que buscan resolver. Esta área de investigación se consolida en 1972 con la realización de la I Conferencia Mundial sobre toma de decisiones multicriterio.

En Estados Unidos las discusiones sobre la toma de decisiones multicriterio se centraron en los años 70 sobre la aditividad de las preferencias, es decir, sobre la posibilidad de agregar las diferentes funciones de utilidad de cada criterio en una única función "suma" de las anteriores, siguiendo la vía del realismo. Esta función de utilidad global, que refleja las preferencias del decisor, 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, por sus siglas en inglés), que unas veces se integra dentro de la estructura de la toma de decisiones multicriterio y en ocasiones, sobre todo cuando el riesgo y la incertidumbre juegan un papel relevante, se considera como una disciplina separada. (Jiménez, 2009)

En contraposición a este modelo, el matemático francés Bernard Roy planteó un nuevo enfoque, proponiendo el Método ELECTRE I, precursor de una nueva familia de métodos y de lo que posteriormente se ha denominado la "Escuela Francesa", que se desmarca de la teoría de la decisión clásica, inspirada en la vía del realismo, y crea lo que denomina la "Ciencia de Ayuda a la Decisión Multicriterio" (Multicriteria Decision Aid, MCDA) que sigue la vía del constructivismo. Esta escuela pretende, mediante el establecimiento de conceptos rigurosos, modelos bien formalizados, procedimientos de cálculo precisos y resultados basados en axiomas bien establecidos, construir una ciencia que ayude al decisor a encontrar soluciones satisfactorias. (Jiménez, 2009)

A partir del año 1975 el campo de la toma de decisiones multicriterio va tomando forma y durante la década de los 80 se van proponiendo diferentes métodos. Durante la década de los 90, en especial a finales de la misma, los métodos propuestos comienzan a trascender el ámbito académico y se extienden en el ámbito público y empresarial.

En lo que va de este siglo se han incorporado nuevos conceptos al análisis multicriterio. El desarrollo sustentable es un concepto multidimensional que involucra perspectivas socioeconómicas, técnicas, ecológicas y éticas. Los temas relacionados con la sustentabilidad están caracterizados por un grado de conflicto elevado, por ello, el análisis multicriterio está siendo considerado como un enfoque adecuado para lidiar con estos conflictos a niveles micro y macro de análisis (Maldonado, 2010). La lógica difusa es otro concepto que ya desde el siglo XX fue integrado al análisis multicriterio y que actualmente es uno de los tópicos más mencionados en las publicaciones recientes.

Los aspectos éticos y de comportamiento también están siendo abordados a través del cuestionamiento a los métodos racionales, tratando de incluir nociones de psicología

para entender y modelar de manera más cercana a la realidad las actitudes y creencias que influyen a los decisores. Aunque algunos usuarios de las técnicas multicriterio ven con agrado la estructuración y robustez de estos procedimientos, también es cierto que existen cuestionamientos acerca de los resultados, pues pueden ser considerados una especie de “caja negra” cuya salida depende de información precisa y confiable, lo cual es en ocasiones difícil de lograr. Además, estas técnicas en su mayoría suponen que el usuario tiene un bagaje de conocimientos previos que le permiten su ágil manejo y que acepta los métodos analíticos; es decir, suponen una conducta racional del decisor, conducta que no puede ser generalizada cuando se aplica este tipo de procedimientos en problemas del mundo real (Maldonado, 2010). Otro cuestionamiento es que en la toma de decisiones se suelen utilizar criterios cuantitativos y cualitativos, pero también es habitual que estos criterios se limiten a su carácter técnico o de evaluación de las alternativas; sin embargo, en muchas decisiones hay implícitas consecuencias y valoraciones que no se miden desde criterios técnicos sino desde criterios normativos éticos y axiológicos. Por lo anteriormente expuesto, hay interés para considerar las cuestiones éticas implícitas en los procesos de toma de decisiones y considerar la importancia de los valores del decisor.

Debido a la proliferación de métodos y sus variantes es importante comprenderlos y entender sus diferencias, así como la conveniencia de su aplicación en determinadas situaciones. Cada método usa técnicas numéricas para ayudar al decisor a elegir entre el conjunto de alternativas. La dificultad surge al tratar de comparar los métodos y elegir cuál es el mejor para aplicarlo en el problema particular que tenemos ante nosotros. Un primer paso para lograr lo anterior consiste en diferenciar los enfoques que han caracterizado el análisis multicriterio.

En la actualidad los distintos métodos de toma de decisiones multicriterio no se aplican únicamente al campo de la economía, sino que su uso se ha extendido en mayor o menor medida a otras disciplinas como pueden ser educación (planificación académica), medioambiente (la gestión forestal, eliminación de residuos), sanidad, industria, recursos humanos (gestión de recursos humanos), construcción, transporte, planificación de la producción y programación, entre otros.

Los métodos de decisión multicriterio se dividen en dos grupos, el Multicriterio Continuo o Multiobjetivo y la Decisión Multicriterio Discreta.

### **1.5 Métodos Multicriterio Continuos**

El análisis multicriterio continuo afronta aquellos problemas multicriterio en el que el decisor se enfrenta a un conjunto de soluciones factibles formado por infinitos puntos. En este grupo nos encontramos con la Programación multiobjetivo, la Programación compromiso y la Programación por metas.

### **1.6 Métodos Multicriterios Discretos**

Se considera un problema de Decisión Multicriterio Discreto, aquel que se visualiza con un conjunto de alternativas factibles finitas, en un número no muy elevado y que se conocen de manera explícita. La mayoría de los métodos de solución para este tipo de problemas, pertenecen a Escuela Americana y a la Escuela Europea.

#### **1.6.1 La Escuela Americana**

En 1944 Von Neumann y Morganstern axiomatizaron la teoría de utilidad esperada y así asentó las bases de la Teoría de la Utilidad Multi-atributo (MAUT), como aplicación en econometría.

Los métodos integrados dentro de la Teoría de la Utilidad Multiatributo 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 modelarse mediante funciones valoradas reales que pueden ser maximizadas/minimizadas entre las alternativas. Algunos autores han sugerido que MAUT tiene dos variantes: La escuela de Harvard y la escuela de Stanford. La diferencia entre ellas es que en la escuela de Stanford no es necesario calcular una medida global para tomar una decisión. (Redondo, 2007)

Los métodos basados en la función de valor consisten en construir una función ( $v$ ) que asocia un número real a cada una de las alternativas posibles. Este número refleja el valor o la utilidad que cada alternativa tiene para el decisor.

La principal dificultad de estos métodos consiste precisamente en encontrar dicha función de valor, pero una vez obtenida, el problema de decidir la mejor de las alternativas se reduce a obtener el máximo/mínimo de todos los valores calculados. 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). (Pérez, 2013)

### **El método de la suma ponderada**

El método de la suma ponderada asume que la función valor buscada se puede descomponer y asimilar a un modelo aditivo, es decir, presentarse de la forma:

$$v = \lambda_1 * v_1 + \lambda_2 * v_2 + \dots + \lambda_n * v_n$$

Los datos de partida del método son los expresados en la matriz de valoración ( $x_{ij}$ ) de forma que se evalúa, para cada alternativa, el grado de cumplimiento de cada uno de los criterios. Se supone que los juicios que evalúan cada alternativa según cada criterio admiten representaciones numéricas sobre una escala de valores reales. (Gonzalez, 2012)

Una vez obtenida la matriz de valoración, ésta debe ser normalizada, de forma que los valores de los criterios, generalmente expresados en escalas distintas, se puedan comparar y no se produzcan sesgos.

Una vez obtenidos los valores normalizados  $r_{ij}$  para cada alternativa  $A_i$ , y conocidos los pesos  $w_j$  asociados a cada uno de los criterios que se consideran, el método de la suma ponderada construye la función valor de la siguiente forma:

$$v(A_i) = \frac{\sum_{j=1}^n (w_j * r_{ij}); i = 1, 2, \dots, m}{\sum_{j=1}^n (w_j)}$$

Donde  $v(A_i)$  es un valor promedio ponderado para cada alternativa  $A_i$ , que refleja el valor que cada alternativa tiene para el decisor. Así pues, con la ordenación de las alternativas en base a los valores  $v(A_1), v(A_2), \dots, v(A_m)$  es posible resolver el problema de decisión y determinar la mejor alternativa de entre las posibles, que será la de suma ponderada mayor/menor (de acuerdo al criterio de optimización seleccionado). (María Fernanda Serrano Guzmán, 2017)

### **El Proceso Analítico Jerárquico**

Desarrollado por Thomas Saaty en 1980, 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. (Avendaño, 2017)

### **El método SMART**

El método SMART fue desarrollada por Edwards y Barron, 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. (Bello, 2006)

La ventaja del modelo SMART es que es independiente de las alternativas. 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 o se eliminan.

### **1.6.2 La 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. 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 REalité) los métodos PROMETHEE (Preference Ranking Organization meted of Enrichement Evaluations), y el método MACBETH (The Measuring by a Categorical Based Evaluation Technique), métodos también llamados de sobreclasificación.

### **Método ELECTRE**

El método ELECTRE 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. Originaria y desarrollada por la escuela francófona (principalmente en Francia, Bélgica, Suiza aunque puede considerarse continental, ya que se verifican importantes contribuciones de los Países Bajos y Polonia, entre otros, a tal esquema), 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. (Zamora, 2010)

### **Método PROMETHEE**

El método PROMETHEE desarrollado por Vinke y Brans en 1985 consiste, como en ELECTRE III, en la construcción de relaciones de superación valorizadas, incorporando conceptos y parámetros que poseen alguna interpretación física o económica fácilmente comprensibles por el decisor. (Islas, 2009)

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. (Loaiza, 2016)

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 se incorpora una filosofía de optimización entera a efectos de abordar problemas de selección de inversiones con restricciones presupuestarias. (Chávez, 2013)

### **Método MACBETH**

MACBETH es un método interactivo que mide el grado de preferencia de un decisor sobre un conjunto de alternativas. Fue desarrollado por Bana et al. 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. (Xavier Girones, 2008)

#### **1.6.3 Otros métodos de decisión multicriterio discretos**

Finalmente como otros métodos interesantes podemos considerar el método ZAPROS (abreviación de las palabra Rusas: Closed Procedures near Reference Situations), el método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), que

se basa en el cálculo de la distancia euclídea de una alternativa a las soluciones ideal y antiideal previamente establecidas y el método VIKOR que determina una solución de compromiso, proporcionando una “utilidad de grupo” para la “mayoría” y una penalización mínima individual para el “oponente”.

### **Método ZAPROS**

La técnica ZAPROS fue desarrollado por Larichev y Moshkovich utiliza evaluaciones cualitativas mediante las que el decisor elabora ordenes parciales en un posible gran conjunto de alternativas, pero el método solo proporciona un orden parcial y no garantiza una ordenación completa. (Jiménez, 2009)

El método está basado en operaciones psicológicamente válidas para la elicitación de información de un decisor: comparaciones de dos distancias entre las evaluaciones en las escalas ordinales de dos criterios. La información recibida por el decisor se utiliza para la construcción de relaciones binarias entre un par de alternativas que producen relaciones de preferencia, indiferencia o incompatibilidad.

### **Método TOPSIS**

El método de Programación por Compromiso, también llamado TOPSIS, es una técnica de programación matemática utilizada originalmente en contextos continuos y que ha sido modificada para el análisis de problemas multicriterio de tipo discretos. Es utilizada para identificar soluciones que se encuentran lo más cerca posible a una solución ideal aplicando para ello alguna medida de distancia. Las soluciones así identificadas se denominan soluciones compromiso y constituyen el conjunto de compromiso.

Esta técnica está basada en el concepto de que una alternativa seleccionada debe tener la distancia más corta posible hacia la solución ideal positiva y estar lo más lejos posible respecto a la solución ideal negativa. Fue desarrollada por Hwang y Yoon recibiendo posteriormente aportes de Zeleny. Fue mejorada por los propios autores en 1987 y más tarde por Lai et al en 1993, (Jiménez, 2009). Una solución ideal se define como una colección de niveles ideales (o de valoraciones) en todos los atributos considerados, pudiendo suceder que tal solución normalmente sea inalcanzable o que sea no factible. Esta noción se basa en la idea de que el logro de tal meta se encuentra en la racionalidad de la elección humana. El vector compuesto por los mejores valores del j-ésimo atributo respecto a todas las alternativas posibles es quien recibe el nombre de solución ideal positiva. En contraposición, la solución ideal negativa estaría dada por el vector que

contiene las peores valoraciones alcanzables en los atributos. De este modo puede ocurrir que una alternativa seleccionada desde el punto de vista de su distancia más corta respecto de la solución ideal positiva deba competir con otra alternativa que se encuentra lo más lejos posible de la solución ideal negativa. Por ello, y a fin de definir la solución ideal, el método TOPSIS define un índice de similaridad (o de proximidad relativa) que se construye combinando la proximidad ideal positiva y la lejanía respecto al ideal negativo.

El método se desarrolla en una serie de etapas: primero se normalizan las valoraciones asignadas a las diversas alternativas; luego se calculan los valoraciones normalizadas ponderadas; de allí se identifican y/o definen las soluciones ideal positiva e ideal negativa del problema bajo análisis, en términos de los valores normalizados ponderados; así mismo se calculan las medidas de separación o distancia a la soluciones ideales entre las alternativas, mediante alguna noción de distancia métrica, que puede ser la euclídea. Cualquiera que sea la noción de distancia utilizada, está se calcula respecto a la solución ideal positiva y respecto a la solución ideal negativa; finalmente se construyen las semejanzas a la solución ideal como índice respecto a la solución ideal negativa, lo que implica que dicho índice combina los dos aspectos o metas definidos al principio. (Jiménez, 2009)

La ordenación por preferencia de las soluciones surge de colocar las alternativas en orden decreciente respecto a las semejanzas estimadas en el último paso ya que el valor más alto representa aquella alternativa que se encuentra más cerca del ideal positivo en relación a la distancia respecto al ideal negativo.

### **Método VIKOR**

El método VIKOR fue introducido por Opricovic, como una técnica aplicable para implementar dentro de los MCDM. El método VIKOR se desarrolló para sistemas complejos de optimización multicriterio. Este determina una lista-ranking de compromiso, la solución de compromiso y los intervalos de estabilidad de pesos para la estabilidad de la preferencia de la solución de compromiso obtenida con los pesos iniciales (dados). Este método se centra en la ordenación y selección de un conjunto de alternativas en presencia de criterios en conflicto. Introduce un índice de ordenación multicriterio basado en la medida particular de “proximidad” a la solución “ideal”. (Romana, 2016)

Se asume que cada alternativa se evalúa de acuerdo a cada función criterio, la ordenación de compromiso puede representarse mediante la comparación de las

medidas de proximidad a la alternativa ideal. La medida multicriterio para la ordenación de compromiso se desarrolla mediante la utilización de la **métrica-L<sub>p</sub>** como una función de agregación en un método de programación por compromiso. Las diferentes alternativas se denotan como **a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>,..., a<sub>j</sub>**. Para la alternativa **a<sub>j</sub>**, la valoración del **i-ésimo** aspecto se denota mediante **f<sub>ij</sub>**, es decir, **f<sub>ij</sub>** es el valor de la **i-ésima** función criterio para la alternativa **a<sub>j</sub>**; siendo **n** el número de criterios. (Hernández, 2015). Siendo la definición de la **métrica-L<sub>p</sub>**: del método VIKOR:

$$L_{p,j} = \left\{ \sum_{i=1}^n [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)^p] \right\}^{1/p}$$

$$1 \leq p \leq \infty; j = 1, 2, \dots, J$$

Donde **f<sub>i</sub><sup>\*</sup> = max f<sub>ij</sub>** y **f<sub>i</sub><sup>-</sup> = min f<sub>ij</sub>** si la **i-ésima** función representa un criterio de beneficio.

La ordenación mediante VIKOR puede realizarse con diferentes valores para los pesos de los criterios, analizando el impacto de estos en la solución de compromiso propuesta. El método VIKOR determina los intervalos de estabilidad de los pesos, utilizando la metodología propuesta por Opricovic. La solución de compromiso obtenida con los pesos iniciales puede reemplazarse con el valor de un peso que no se encuentra en el intervalo de estabilidad. El análisis de los intervalos de estabilidad de pesos para un solo criterio se realiza para todas las funciones criterio, con el mismo valor inicial de los pesos (dados). De este modo, las preferencias de estabilidad de una solución de compromiso obtenida deberían analizarse utilizando el programa VIKOR. (Blanca Ceballos, 2015)

VIKOR es una herramienta en la toma de decisión multicriterio, particularmente en una situación donde el decisor no es capaz, o no sabe expresar sus preferencias al comienzo del diseño del sistema. La solución de compromiso obtenida puede ser aceptada por los decisores porque proporciona una máxima “utilidad de grupo” de la “mayoría” y un mínimo de penalización individual para el “oponente”. La solución de compromiso podría ser la base para negociaciones, incluyendo las preferencias del decisor para el peso de los criterios.

## **1.7 Matriz DAFO del enfoque multicriterio**

La matriz DAFO es una herramienta de análisis estratégico. Conjuga el estudio de las fortalezas (o puntos fuertes) y debilidades (o puntos débiles) de una organización, un territorio o un sector con el estudio de las oportunidades y amenazas de su entorno, aunque también es aplicado con fines académicos para la profundización de conocimientos sobre determinado tema.

Este recurso fue creado a principios de la década de los setenta y produjo una revolución en el campo de la estrategia empresarial. El objetivo del análisis DAFO es determinar las ventajas competitivas de la empresa bajo análisis y la estrategia genérica a emplear por la misma que más le convenga en función de sus características propias y de las del mercado en que se mueve, como bien lo expone (DEVCO, 2015).

Este análisis permite identificar las líneas estratégicas que pueden desarrollarse. Aunque en un principio esté destinado a la planificación, su evaluación sirve también para comprobar que la estrategia establecida ofrece una respuesta satisfactoria a la situación que describe el análisis y para el completamiento de conocimientos.

### **1.7.1 Fortalezas**

Las fortalezas (o puntos fuertes) son todos aquellos elementos internos y positivos que diferencian al programa o proyecto de otros de igual clase.

- Permiten identificar elementos de respuesta tangibles a preguntas y problemas que se presentan en la toma de decisiones.
- Simplifica situaciones. Facilita el encontrar una solución en ambientes complejos y permite identificar las variables y relaciones presentes en la situación.
- Es un método comprensible. Las bases sobre las que se realiza la evaluación de criterios y la puntuación de resultados son a menudo fácilmente comprensibles.
- Es un método racional. Gracias al estudio homogéneo y simultáneo de un gran número de factores que permite una valoración estable de los diferentes elementos incluidos en el análisis.
- Es una herramienta de negociación útil en discusiones complejas y en contextos conflictivos.
- Contribuye a racionalizar el debate y a aumentar y desarrollar la comunicación entre los actores.
- Los métodos de decisión son una herramienta que reduce la subjetividad en la toma de decisiones mediante la creación de una serie de filtros de selección y ayuda a la elección entre alternativas complejas.

### **1.7.2 Debilidades**

Contrariamente a las fortalezas, las debilidades (o puntos débiles) se refieren a todos aquellos elementos, recursos, habilidades y actitudes que la empresa ya tiene y que constituyen barreras para lograr la buena marcha de la organización.

- Se requieren análisis adicionales para establecer condiciones previas. Dado que se requiere un mínimo de puntos de acuerdo entre los actores respecto a los objetivos, criterios, pesos, etc. Esto involucra tiempo, procesos y recursos adicionales.
- Dificultad para llegar a acuerdos respecto a la selección de acciones o alternativas a estudiar al definir los criterios de comparación y elaborar las tablas de puntuación, etc.
- Tiempos prolongados. Los análisis multicriterio suelen basarse en procesos prolongados e iterativos, que pueden requerir un importante y largo período de negociación.
- Grado de tecnicidad. Además de las herramientas informáticas que hay que saber manejar, los conceptos y los métodos matemáticos de agregación de datos requieren la capacitación adecuada; de lo contrario, pueden surgir confusiones en el análisis y llegarse a conclusiones erróneas.
- El análisis puede incluir cierto grado subjetivo. A pesar de su enfoque racional, debido a que se incluyen datos provenientes de fuentes que pueden tener intereses diversos.

### **1.7.3 Oportunidades**

Las oportunidades son aquellos factores, positivos, que se generan en el entorno y que, una vez identificados, pueden ser aprovechados.

- Permiten reducir o atemperar el riesgo que suponen las conjeturas y supuestos improvisados en el afán de alcanzar mejores niveles de competitividad en el seno de las empresas, los sectores industriales y las regiones a partir de la utilización de los métodos apoyando la toma de decisiones en la organización.
- Los problemas actuales exigen por sus características pluralidad en la decisión.

### **1.7.4 Amenazas**

Las amenazas son los problemas, obstáculos o limitaciones externos al programa o proyecto, que pueden atentar contra éste, por lo que llegado al caso, puede ser necesario diseñar una estrategia adecuada para poder sortearlas.

- Inutilización de los métodos debido a limitaciones de los modelos desarrollados hasta el momento como lo es la falta de formalización de la que padecen.

- Pobre capacitación de los directivos de las organizaciones sobre la utilidad de estos procedimientos para la toma de decisiones que involucre varias opiniones.

### **1.8 Conclusiones Parciales**

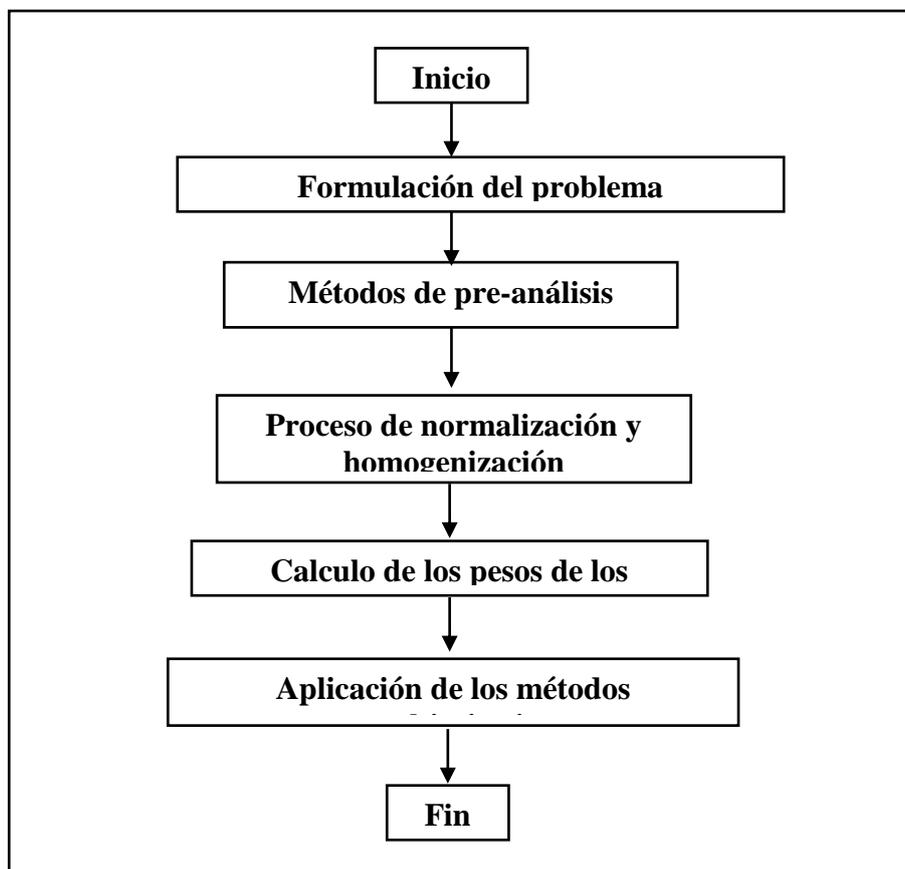
La revisión bibliográfica realizada permitió llegar a las conclusiones siguientes:

1. La diferencia entre la escuela americana y europea en relación con el enfoque multicriterio está dada en que mientras la escuela americana parte de construir una función de valor que asocia un número real a cada una de las alternativas y obtener el máximo/mínimo de todos los valores calculados para el decisor, la escuela europea se basa en relaciones de superación valorizadas para decidir acerca de la determinación de una solución, que sin ser óptima pueda considerarse satisfactoria
2. La necesidad de la pluralidad se debe a que esta ofrece una visión natural de la realidad que condiciona la elección y que las restricciones planteadas sean menos estrictas, para poder abordar los problemas de decisión de forma más flexible.
3. En un entorno de competitividad creciente es fundamental el empleo de metodologías de apoyo en la toma de decisiones que ayuden a decidir en escenarios donde intervienen múltiples variables o criterios de selección, en la búsqueda de la eficiencia y la productividad de las empresas y los sectores industriales.

## CAPÍTULO II. Procedimiento metodológico para la toma de decisiones con enfoque multicriterio

### Introducción

Los avances incorporados a la búsqueda continua de la competitividad de las empresas han favorecido el desarrollo de diversos métodos multicriterio que apoyen la toma de decisiones. En este capítulo, dando cumplimiento a los objetivos de la investigación, se propone una descripción de la metodología de trabajo multicriterio como un procedimiento para la asistencia a la toma de decisiones, clasificándolo como el método más apropiado en la optimización de los resultados que se pretenden obtener con su aplicación. (Ver **figura 2**)



**Figura 2:** Procedimiento metodológico para la toma de decisiones con enfoque multicriterio. **Fuente:** Elaboración propia

### 2.1 Formulación del problema

Definir el problema es el paso inicial para la toma de decisión; sin un problema bien definido, no hay objetivo definido y no hay una solución veraz. Se hace necesario maximizar la posibilidad de aislar y definir el problema sin restricciones, lo más amplio

posible. Se tendrán en cuenta: la magnitud del problema, dominio y conocimiento por los especialistas, existencia de recursos necesarios, beneficio económico de la solución, importancia e influencia sobre los demás problemas.

Se definirán las alternativas, atributos y criterios de decisión del problema, teniendo en cuenta criterios y requisitos que estos deben cumplir. Es necesario que los atributos puedan medirse independientemente de los deseos del centro decisor y a su vez sean susceptibles de expresarse como una función de las correspondientes variables de decisión.

Para definir las alternativas y atributos se hace necesaria la utilización de diferentes técnicas de recopilación de información como pueden ser:

- **Entrevistas:** Comunicación verbal entre dos o más personas con el objetivo de obtener información acerca de determinadas cuestiones. Constituye el elemento básico para la obtención de información, realizándose a distintos niveles de dirección en la entidad donde se hace el estudio, por lo que el tipo de entrevista, su contenido y la forma de realizarla estarán en función del nivel de dirección o de decisión de las distintas personas entrevistadas.
- **Encuesta:** Técnica cuantitativa que consiste en una investigación realizada sobre una muestra de sujetos, representativa de un colectivo más amplio que se lleva a cabo en el contexto de la vida cotidiana, utilizando procedimientos estandarizados de interrogación con el fin de conseguir mediciones cuantitativas de características objetivas y subjetivas de la población.
- **Análisis de documentos:** Es la técnica de investigación donde los analistas de sistemas y diseñadores deben tratar de encontrar la información necesaria para comenzar las investigaciones. En los documentos se puede encontrar la historia de la entidad, estado económico, financiero de la misma y las principales inversiones que se han hecho.

Una vez definidos se agrupan el conjunto de alternativas y criterios en una matriz de  $m \times n$  ( $R_{11}, \dots, R_{mn}$ ) que representa el resultado alcanzado por cada alternativa en relación con cada criterio. Esta matriz se denomina “Matriz decisional” y es el punto de partida de todos los análisis multicriterio discretos.

**Tabla 3:** Matriz decisional

		Atributos					
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	...	A <sub>j</sub>	...	A <sub>n</sub>
Alternativas	E <sub>1</sub>	R <sub>11</sub>	R <sub>12</sub>	...	R <sub>1j</sub>	...	R <sub>1n</sub>
	E <sub>2</sub>	R <sub>21</sub>	R <sub>22</sub>	...	R <sub>2j</sub>	...	R <sub>2n</sub>
	...	...	...	Valoraciones	...	...	...
	E <sub>i</sub>	R <sub>i1</sub>	R <sub>i2</sub>	...	R <sub>ij</sub>	...	R <sub>in</sub>
	...	...	...	...	...	...	...
	E <sub>m</sub>	R <sub>m1</sub>	R <sub>m2</sub>	...	R <sub>mj</sub>	...	R <sub>nm</sub>

**Fuente:** Elaboración propia

## 2.2 Métodos de Pre – análisis

Para alcanzar la decisión más satisfactoria en el proceso de toma de decisiones es imprescindible la tenencia en cuenta de todas y cada una de las características o criterios, que a través de ellos se puede llegar al establecimiento de un orden, y aún más, a la selección de la alternativa más fiable y accesible que logre el objetivo final.

Es importante para el decisor, a la hora de aplicar el procedimiento establecido, buscar posibilidades para llevar a cabo un proceso de toma de decisiones más eficiente, por lo que incorporar métodos que analicen de forma temprana la posibilidad de eliminar alternativas constituye una prioridad, este es el caso de los métodos de pre-análisis que se utilizan en la práctica empresarial.

**Método de dominación:** Con el objetivo de reducir el conjunto de alternativas a valorar para hacer el procedimiento propuesto más rápido y eficiente es necesario eliminar aquellas alternativas que por sus características no formarán parte del conjunto solución debido al mal comportamiento de los indicadores obtenidos siendo estas las alternativas que reciben el nombre de alternativas dominadas.

Se dice que una alternativa domina a la otra si en al menos uno de los criterios es mejor que la otra y en los demás es al menos igual, lo que equivale a decir que la mejor alternativa es no dominada concepto que coincide con la solución eficiente o solución Pareto optimal. Dicho de otro modo, que no se puede encontrar otra alternativa que sea mejor o igual en todos los criterios y estrictamente mejor en al menos uno de ellos.

**Método de satisfacción:** Es otro procedimiento para la eliminación de la cantidad de alternativas, haciendo más fácil la obtención de los resultados esperados. El método de satisfacción plantea que aquella o aquellas alternativas que incumplan con el nivel de satisfacción para cualquiera de los criterios de decisión se eliminan del conjunto de

alternativas de solución. El análisis de satisfacción presupone la fijación de niveles de satisfacción para alguno o todos los criterios que deben ser satisfechos.

### **2.3 Proceso de normalización y homogenización**

Antes de aplicar el método multicriterio que se decida, en algunos casos, es necesario realizar primeramente algunas transformaciones a la matriz de decisión. Tal es el caso de la homogenización y la normalización como se explican a continuación.

La homogenización se realiza para que todos los criterios de decisión estén con el mismo criterio de optimización (todos a mín. o todos a máx.) Si los  $a_{ij}$  son positivos se puede pasar de min a max utilizando la transformación  $V_{ij} = 1/a_{ij}$

Resulta esencial proceder a la normalización de los diferentes criterios en consideración.

La normalización es necesaria por las razones que exponemos seguidamente.

En primer lugar debe de tenerse en cuenta que en la mayor parte de los contextos decisionales las unidades en que están medidos los diferentes criterios suelen ser muy diferentes por lo que una comparación o agregación de los diferentes criterios carece de significado. En segundo lugar debe asimismo tenerse en cuenta que en muchos problemas multicriterio, los valores alcanzables por los diferentes criterios pueden ser muy diferentes. En tales casos, sin una normalización previa de los criterios los métodos multicriterio pueden conducirnos a soluciones sesgadas hacia los criterios con valores alcanzables mayores.

El propósito de la normalización es el de obtener escalas comparables, lo que permitirá realizar comparaciones intra-atributos así como las inter atributos. Los procedimientos de normalización más utilizados son:

Fracción del rango:  $V_i = (a_i) / (\max a_i - \min a_i)$ .

Fracción del total:  $V_i = a_i / \sum a_i$ .

Fracción del máximo:  $V_i = a_i / \max a_i$

Fracción I-enésima componente:  $V_i = a_i / (\sum a_i^2)^{1/2}$

No existe un método de normalización superior a otro, pero la mayoría de los decisores utilizan el de la fracción del total por su sencillez operacional y porque muchos métodos multicriterio suponen como condición o premisa que la normalización de la matriz sea realizada con este método.

### **2.4 Cálculo de los pesos de los criterios**

Como se ha comentado anteriormente, los criterios relevantes en un problema decisional pueden tener diferente importancia para el centro decisor. Este hecho hace que en

muchos problemas decisionales resulte necesario obtener unos pesos o indicadores de las preferencias relativas del centro decisor por unos criterios con respecto a otros. Conviene indicar que así como la tarea de normalizar criterios requiere exclusivamente una información de tipo técnico, la estimación de las preferencias relativas conlleva una fuerte carga subjetiva lo que hace necesario que para estimar dichos pesos preferenciales tengamos que interaccionar de una manera u otra con el centro decisor. Estos pesos  $w_j$  deben ser números positivos, e independientes de las unidades de medición de los criterios.

$$W = \{w_j\} \quad \forall_j = 1,2,3, \dots, m$$

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

Seguidamente pasamos a exponer alguno de los procedimientos utilizados para poder estimar pesos preferenciales. Éstos se clasifican en tres grupos:

### **Métodos de asignación directa**

**Ordenación simple:** Es la técnica más sencilla de ponderación de criterios, ya que en él lo único que se demanda al decisor es que ordene los criterios de mayor a menor importancia, de forma que después se da el mayor valor al primero y el menor valor al último. En el supuesto de que dos criterios se definan como de la misma importancia a cada uno de ellos se le adjudica el promedio de ambas valoraciones. Puntuados los criterios se normalizan por la suma y el resultado es la ponderación final de los criterios. Es interesante observar que con el procedimiento expuesto la suma de los pesos preferenciales obtenidos es igual a uno. Esta propiedad es bastante útil tanto para interpretar el significado de los pesos como para facilitar su uso por parte del centro decisor. Este método por su sencillez puede ser aplicado en situaciones de poca información sobre las variables por parte del decisor. Facilita el proceso decisional, pues mediante una simple técnica, puede ser llevada a cabo una gran acción que demuestra la importancia de los métodos subjetivos y la necesidad de la utilización de los criterios de expertos.

**Tasación simple (Rating):** Se le pide al decisor que de una valoración de cada peso en una cierta escala de medida. Al igual que el método anterior puede ser utilizado en situaciones de poca información.

### **Métodos objetivos**

**Entropía:** Propuesto por Zeleny (1982) como un método objetivo de cálculo de los pesos ya que parte del supuesto de que un criterio tiene mayor peso cuando mayor diversidad hay en las evaluaciones de cada alternativa y además su cálculo se realiza a partir de los valores que adquieren los distintos criterios que se van a ponderar. Se parte de las evaluaciones de los  $a_{ij}$  ya normalizadas, y se calcula la entropía  $E_j$  para cada criterio mediante la expresión:

$$E_j = -k * \sum (N_{i,j} * \log N_{i,j})$$

Donde:

$k = 1/\log m$  constante que se ajusta para que siempre sea  $0 \leq E_j \leq 1$ , para todo  $j$ ; siendo  $m$  el número de alternativas.

Se procede a calcular la diversidad de cada criterio:

$$D_j = 1 - E_j$$

Y calcular el peso:

$$W_j = D_j / \sum D_j$$

**Correlación entre criterios:** Método presentado por Diakoulaki en el año 1992. Pondera cada variable según la expresión, calculando el coeficiente de correlación entre la columna  $j$  y la fila  $k$  de la matriz de decisión ( $r_{jk}$ ). El método Diakoulaki ayuda a ponderar el peso de cada una de las variables explicativas para llegar a un valor único en función de todas ellas y a partir de la propia información.

$$W_j = S_j * \sum (1 - r_{jk})$$

Siendo:

$W_j$ = peso o ponderación de la variable  $j$

$S_j$ = desviación típica de la columna  $j$

$r_{jk}$ = coeficiente de correlación entre la columna  $j$  y la  $k$

### **Métodos de asignación indirecta**

**Eigenpesos:** Es un método de vector de pesos basado en el cálculo del autovector dominante de una matriz de comparaciones binarias de los criterios. Existen algunos métodos precursores de éste, como el método DARE de Klee, pero su principal representante es el ya clásico método AHP (Analytic Hierarchy Process) propuesto por Saaty a finales de los años 70.

Este procedimiento requiere del centro decisor la comparación simultánea de sólo dos objetivos. Es decir, el centro decisor ha de realizar una comparación de valores subjetivos por parejas obteniendo unos valores  $a_{ij}$  que es posible agrupar en una matriz cuadrada de orden  $n$ : la llamada matriz de comparaciones binarias  $A = [a_{ij}]$  a partir de la

elección de una escala de medida que se encuentra explicada en la **tabla 4**. La razón de comparar de dos en dos los criterios, es porque para el decisor es más fácil que compararlos todos a la vez.

**Tabla 4:** Escala fundamental de números absolutos

<b>Intensidad de importancia</b>	<b>Definición</b>	<b>Explicación</b>
1	Igual importancia	Ambos criterios son de igual importancia
2	Débil o ligero	Entre igualmente y moderadamente preferible
3	Importancia moderada	Débil o moderada importancia de uno sobre otro
4	Ventaja moderada	Entre moderadamente y fuertemente preferible
5	Fuerte importancia	Importancia esencial o fuerte de un criterio sobre otro
6	Fuerte ventaja	Entre fuertemente y extremadamente preferible
7	Muy muy fuerte	Importancia demostrada de un criterio sobre otro
8	Muy muy fuerte	Entre muy fuertemente y extremadamente preferible
9	Importancia extrema	Importancia absoluta de un criterio sobre otro

**Fuente:** (Ms.C. Ing. Alina Díaz Curbelo, 2012)

Si no fuese el criterio **i** más importante que el **j** sino al revés, se estima  $a_{ji}$  de acuerdo con lo anterior y se hace  $a_{ij}=1/a_{ji}$ . Algunos de los aspectos que justifican el uso de esta escala, son su amplio abanico de posibilidades y el que las valoraciones sean números enteros, con incrementos unitarios de una valoración a otra.

También se considera interesante señalar que el valor 1 es el valor de equivalencia y que cualquier criterio es igualmente importante que sí mismo, luego los coeficientes  $a_{ji}$  de la matriz **A**, (su diagonal principal), tendrán siempre valor 1. Además, como siempre  $a_{ji}=1/a_{ij}$ , el decisor solo necesita evaluar la parte supratrangular de **A**.

Una vez obtenida la matriz de comparaciones binarias se procede a realizar el proceso de sintetización que consiste en sumar los valores de cada columna, dividir cada elemento entre el total de su columna y calcular la media de los elementos de cada fila de la matriz normalizada, esto da lugar al vector de prioridad.

Seguido, el proceso de consistencia, dividiendo los elementos del vector entre el valor de prioridad correspondiente. Se calcula el coeficiente de inconsistencia:  $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$ , siendo n el número de elementos que se están comparando. Se procede al cálculo del coeficiente de inconsistencia aleatorio obtenido por simulación con matrices recíprocas aleatorias. Cálculo del ratio de inconsistencia **R.I**:  $R.I = C.I/C.I.A$ .

Y por último estimar la calidad de la decisión. Si **R.I** < **0,10** se acepta el peso. Si no, se le pide al decisor que reestime algunos o todos los  $a_{ij}$ .

Como pudo apreciarse en este epígrafe, son diversos los métodos para determinar el peso de los criterios existentes para evaluar y seleccionar las alternativas, desde métodos con determinada carga subjetiva hasta los de naturaleza más objetiva. Según la experiencia de varios autores consultados es el método de la Entropía uno de los más utilizados.

### 2.5 Aplicación de los métodos multicriterio

Por último, es necesario determinar cuál es el método multicriterio más adecuado para darle solución al problema de decisión establecido; tal interrogante conduce a establecer una serie de ventajas e inconvenientes de cada método multicriterio, el análisis se realiza por los grupos de escuelas, a la hora de seleccionar el más adecuado para la solución del problema que se enfrenta.

Basándonos en el análisis bibliográfico realizado en el capítulo anterior se seleccionaron el método AHP y el método ELECTRE correspondientes a las escuelas americana y europea, respectivamente. Debido a que las ventajas que estos proporcionan superan sus limitantes siendo idóneos para dar solución al problema de investigación, como se evidencia a continuación.

**Tabla 5:** Ventajas y desventajas de los métodos AHP y ELECTRE.

	<b>AHP</b>	<b>ELECTRE</b>
<b>V</b>	-Permite una organización	-Basado en el establecimiento de una
<b>E</b>	jerárquica del problema en	relación se superioridad.
<b>N</b>	distintos niveles.	-Crea relaciones de comparación entre
<b>T</b>	-Incluye en el método la	fuerte y débil.
<b>A</b>	asignación de pesos a los	-Crea condiciones de concordancia y
<b>J</b>	atributos.	discordancia diferentes.
<b>A</b>	-Detecta y acepta, dentro de	-Admite la existencia de umbrales de
<b>S</b>	ciertos límites la incoherencia	indiferencia y umbrales de preferencia.

	de los decisores humanos	
<b>D E S V E T A J A S</b>	-Cuando alguna matriz tiene juicios inconsistentes se hace más engorroso el trabajo, debido a que hay que eliminar esta inconsistencia	-No se considera la intensidad de las preferencias. -Pueden resultar alternativas incomparables y de esta forma no se puede llegar al orden de las mismas.

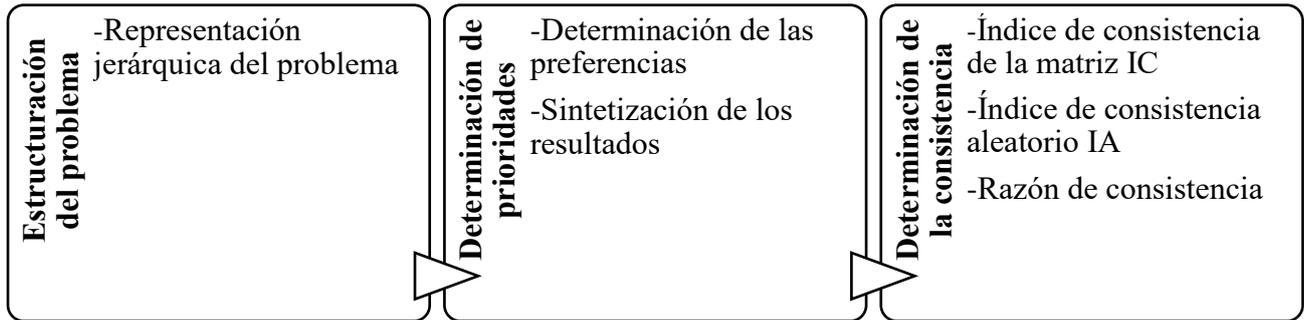
**Fuente:** Elaboración propia

### **2.5.1 Método de la escuela americana Proceso analítico jerárquico.**

El Proceso Analítico Jerárquico, AHP por sus siglas en inglés Analytic Hierarchy Process se caracteriza porque descompone y organiza el problema de forma visual en una estructura jerárquica. Mediante comparaciones por pares (criterio a criterio; subcriterio a subcriterio; alternativa a alternativa) determina la importancia e influencia de los factores que componen el problema, emitiendo juicios de valor que permiten comparar con la misma escala criterios cuantitativos y cualitativos. Además, permite verificar la consistencia de los juicios de valor, aportando mayor seguridad en la toma de la decisión.

El método Analítico Jerárquico combina los dos enfoques fundamentales de resolución de problemas, el enfoque deductivo y el enfoque de sistemas. El enfoque deductivo se centra en el estudio de las partes, y en el Análisis Jerárquico esto se corresponde a la descomposición en partes del problema y la estructuración en una jerárquica, viendo cómo interactúan las distintas partes entre sí. El enfoque de sistemas consiste en considerar la situación como un todo, en el Proceso Analítico Jerárquico se realiza mediante la sintetización de los resultados de cada parte, para ver el impacto que tiene en el problema general.

El Análisis Jerárquico busca mejorar la calidad del Proceso de Toma de Decisiones, dotando de rigor científico cada fase del proceso. Incorpora aspectos del pensamiento humano cualitativos (definir el problema y establecer la jerarquía) y cuantitativos (expresar juicios y preferencias de manera concisa).



**Figura 3.** Procedimiento de la técnica AHP. **Fuente:** Elaboración propia

#### Procedimiento del método AHP:

1. Desarrollar una representación gráfica del problema, en función de la meta general, de los criterios y de las alternativas de decisión. Este tipo de grafica pone de manifiesto la jerarquía del problema.
  - 1er Nivel: Meta general = Seleccionar la mejor alternativa
  - 2do Nivel: Criterios =  $C_1, C_2, \dots, C_n$
  - 3ro Nivel: Alternativas =  $A_1, A_2, \dots, A_m$
2. Establecimiento de prioridades utilizando las comparaciones por pares. Esta comparación por pares es el bloque constructivo fundamental del AHP.
3. Proceso de sintetización.
  - a) Sumar los valores de cada columna de la matriz de comparación por pares.
  - b) Divida cada uno de los elementos de la matriz de comparación por pares entre el total de la columna: la matriz resultante se conoce como matriz de comparación por pares normalizada.
  - c) Calcular la media de los elementos de cada hilera de la matriz normalizada, estas medias nos dan una estimación de las prioridades relativas de los elementos que se están comparando.
4. Proceso de consistencia entre juicios emitidos por pares (Para esto se calcula una relación de consistencia,  $R_c$ ).
  - a) Calcular el vector de sumas ponderadas.
  - b) Divide los elementos del vector de sumas ponderadas entre el valor de prioridad correspondiente.
  - c) Calcular la media de los valores encontrados ( $\lambda_{max}$ ).
  - d) Calcular el índice de consistencia ( $I_c$ )

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

Donde  $n$  es el número de elementos que se están comparando.

- a) Calcular la revelación de consistencia (**Rc**)

$$Rc = \frac{Ic}{Ri}$$

Donde **Ri** es un índice aleatorio.

**Tabla 6:** Valores aleatorios para **Ri**

<b>n</b>	3	4	5	6	7	8
<b>Ri</b>	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41

**Fuente:** (Ms.C. Ing. Alina Díaz Curbelo, 2012)

Si  $Rc \leq 0,10$ , el nivel de consistencia es razonable.

Si  $Rc > 0,10$ . Juicios inconsistentes.

El cálculo de la relación de consistencia, se hace para cada criterio y después se realiza lo mismo comparando los criterios, buscando la matriz de comparación por pares para todos los criterios.

5. Cálculo de la matriz de prioridades.
6. Clasificación AHP de las alternativas de decisión.

### 2.5.2 Método de la escuela europea ELECTRE

El Método Electre fue desarrollado por Benayoun, Roy y Sussman, en 1966. El método, básicamente, pretende reducir el tamaño del conjunto de soluciones eficientes, realizando una partición del conjunto eficiente en alternativas más favorables (núcleo) y menos favorables. Esta partición se lleva a cabo mediante una relación de sobre clasificación entre las alternativas. Una relación de sobre clasificación se basa en la siguiente relación entre alternativas: Una alternativa **Ei** sobre clasifica (outranks) a otra **Ek** si para los atributos considerados el enunciado "la alternativa **Ei** es al menos tan buena como la alternativa **Ek** es válido. Esa definición de "al menos tan buena" en el método Electre se define a partir de la concordancia y discordancia entre alternativas:

- La concordancia de una alternativa **Ei** y otra **Ek** cuantifica hasta qué punto en un número alto de atributos **Ei** es preferida a **Ek**.
- La discordancia cuantifica hasta qué punto no hay atributo en que **Ek** es mucho mejor que **Ei**.

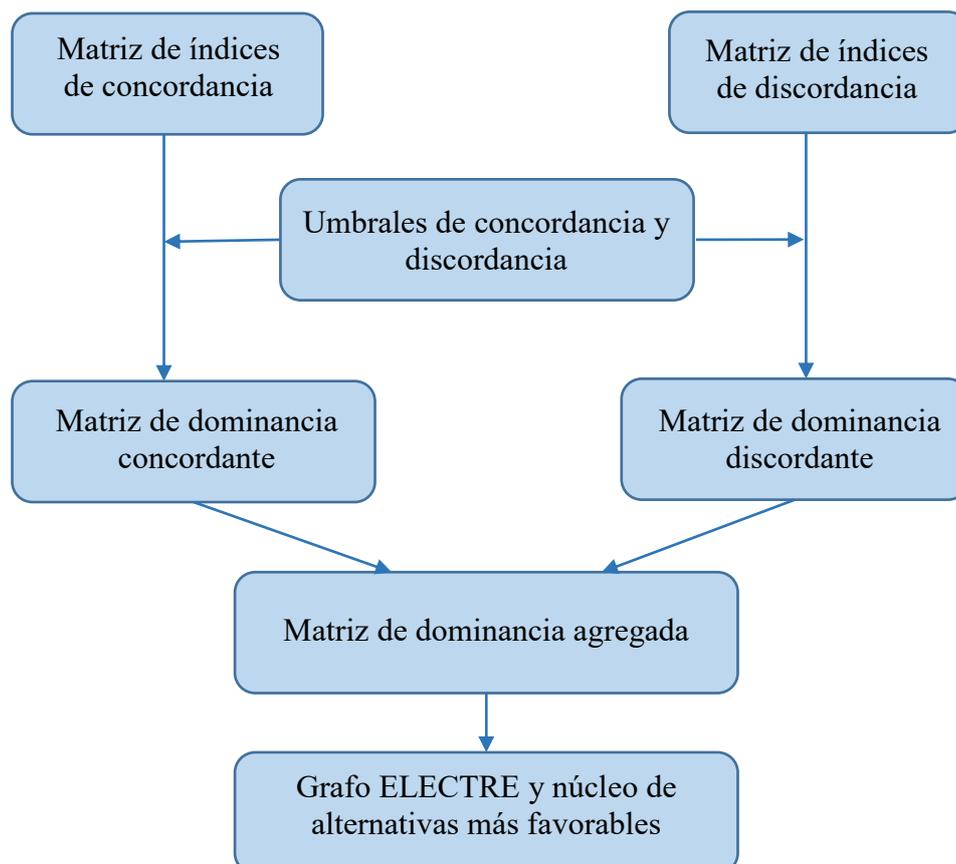
Para que una alternativa sobreclasifique a otra y forme parte del núcleo, ha de superar un umbral mínimo de concordancia **c** y no superar otro umbral de discordancia **d**. Nota **d** y **c** promedio

Obsérvese que la sobre clasificación es distinta de la dominancia, en el sentido paretiano. Por otra parte, se trata de una relación que no tiene la propiedad de la transitividad, es decir, una alternativa puede sobreclasificar a otra y ésta a una tercera, y, sin embargo, la primera no sobreclasificar a la tercera. Esta falta de transitividad se presenta como una ventaja ya que las razones por las que un centro decisor puede preferir la primera alternativa a la segunda y las que llevan a preferir la segunda a la tercera pueden ser muy diferentes y no llevar a que la primera sea preferida a la tercera. Hay varias versiones de ELECTRE. En ELECTRE I las alternativas se separan en dos conjuntos, uno con las alternativas que tienen más adecuadas y otro que tiene las alternativas que no se consideran viables además es el primer método publicado, en tanto el ELECTRE II está más elaborado teóricamente y permite obtener una ordenación completa de las alternativas no dominadas. También se han desarrollado las versiones ELECTRE III (la relación de sobreclasificación se basa en conjuntos borrosos), ELECTRE VI apropiado para casos en los que el centro decisor no desea especificar los pesos preferenciales.

La versión de interés en esta tesis es ELECTRE I, pues constituye el primer método de sobreclasificación publicado y ha sido extensamente utilizado en la práctica con aparentes buenos resultados.

El método ELECTRE I puede recogerse en el siguiente esquema.

**Figura 4.** Algoritmo ELECTRE



**Algoritmo ELECTRE I**

1. Determinar la matriz de índices de concordancia: se parte de la matriz decisional con pesos. Se suman los pesos asociados a los criterios en los que la alternativa **E<sub>i</sub>** es mejor que la **E<sub>k</sub>**, en caso de empate se asigna la mitad del peso a cada una de las alternativas. Es una matriz cuadrada de orden  $m$  donde  $m$  es el número de alternativas. Está compuesta de elementos entre 0 y 1 y no hay elementos en la diagonal principal.
2. Normalizar la matriz de decisión por el método de la fracción del rango.
3. Buscar la matriz de decisión normalizada ponderada. A la matriz normalizada, se pondera multiplicando el peso de los criterios por los valores normalizados.
4. Crear la matriz de discordancias. Es una matriz cuadrada de orden  $m$ , en la diagonal no hay valores y sus valores se encuentran entre 0 y 1. Se parte de la matriz decisional normalizada y ponderada. La discordancia entre **E<sub>i</sub>** y **E<sub>k</sub>** es el cociente entre la diferencia mayor en valor absoluto de los criterios para los que la alternativa **i** es peor que la **k** y la mayor diferencia en valor absoluto entre los resultados alcanzados por la alternativa **i** y **k**.
5. Calcular los valores medios **c** y **d**, donde **c** es el valor medio de los elementos de la matriz de concordancia y **d** es el valor medio de los elementos de la matriz de discordancia.
6. Determinar la Matriz Dominante Concordante formada por 1 y 0. Se coloca 1 cuando el elemento de la Matriz de índice de concordancia es  $\geq c$  y 0 cuando es  $< c$ .
7. Determinar la matriz Dominante discordante. En este caso cuando el elemento de la matriz de discordancia es  $\geq d$  es 0 y 1 cuando es  $< d$ .
8. Determinar la matriz Agregada. Se coloca 1 cuando elementos homólogos de las 2 matrices anteriores son 1 y 0 para los demás casos.
9. Construir gráfico ELECTRE que se obtiene de la matriz agregada.

**2.6 Conclusiones parciales**

1. Este procedimiento puede ser aplicado a todos los sistemas de producción y/o servicios, dadas sus características constructivas, restricciones y resultados.
2. El propósito del método AHP es descomponer un problema complejo en partes más simples, permitiendo que se construya un modelo jerárquico a través de comparaciones por parejas entre (criterios y alternativas) y se atribuyan valores numéricos a las preferencias señaladas, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios.

3. El método ELECTRE permite reducir el tamaño del conjunto de soluciones eficientes, mediante la relación de sobreclasificación establecida en base a los índices de concordancia y discordancia para formar el grafo cuyos vértices del núcleo representan las alternativas que son preferidas.

## **CAPÍTULO III. Aplicación del procedimiento metodológico para la toma de decisiones con enfoque multicriterio**

### **Introducción**

En el presente capítulo se aplica las etapas que constituyen el método explicado con anterioridad.

#### **3.1. Formulación del problema**

A partir de los lineamientos del partido del 2016 en el cual se plantea elevar la eficiencia en la generación eléctrica mediante nuevas inversiones con programas de construcción, montaje y puesta en marcha de nuevas capacidades de generación, la empresa eléctrica de Ciego de Ávila se ha planificado la realización de parques fotovoltaicos siendo esta una inversión a largo plazo y por ello constituirá un ahorro relativamente importante para el país.

Los parques fotovoltaicos están formados por paneles fotovoltaicos los cuales son módulos que aprovechan la energía de la radiación solar para generar electricidad y están constituidos por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas, del griego "fotos", luz. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía luminosa produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente y alimentar una red eléctrica terrestre, además son beneficiosos para la protección del medio ambiente pues mediante estos se produce energía limpia y renovable, sin tener que recurrir a los recursos fósiles y energía nuclear. La energía solar no produce apenas contaminación y, sin embargo, el uso de recursos fósiles libera grandes cantidades de gases tóxicos hacia nuestra atmósfera.

#### **Caracterización de la empresa eléctrica de Ciego de Ávila**

La empresa eléctrica de Ciego de Ávila fue creada mediante la Resolución No.76 de fecha 23 de febrero del 2001 dictada por el Ministro de la Industria Básica, integrada la misma, a todos los efectos legales a la Unión Eléctrica, Subordinada al Ministerio de Energía y Minas, ostentando personalidad jurídica independiente. Se encuentra ubicada en la avenida de los Deportes esquina Circunvalación Norte, en la provincia de Ciego de Ávila.

#### **Misión**

Generar, transmitir, distribuir y comercializar energía eléctrica de calidad con elevada eficiencia en armonía con el medio ambiente y con recursos humanos altamente calificados y motivados, logrando la máxima satisfacción de nuestros clientes.

### **Visión**

Ser líder en generar, transmitir, distribuir y comercializar la energía eléctrica, contribuyendo así al desarrollo del país y a la consolidación del Socialismo.

### **Valores**

- **Patriotismo:** Los Trabajadores Eléctricos están plenamente conscientes de que se deben a la Patria en primera instancia.
- **Solidaridad:** La solidaridad, el espíritu de cooperación y el compañerismo, se han demostrado en la práctica dando apoyo a otras provincias y países para el restablecimiento eléctrico y con la ayuda para perfeccionar los indicadores de eficiencia y calidad.
- **Honestidad y Lealtad:** La esencia de manifestarse está en el comportamiento ético, en su vida laboral y personal, definiendo principios de que la transparencia es la forma clara y precisa de actuar.
- **Consagración al Trabajo:** Los trabajadores eléctricos han demostrado su consagración, apego, compromiso y respeto al trabajo como la manera en que el hombre se forma, consolida y desarrolla.
- **Profesionalidad:** Realizar todo trabajo con rigor, rapidez, eficacia, sin descuidar el más mínimo detalle que demuestra el dominio del tema y de lo establecido para el caso.
- **Sentido de Pertenencia:** Significa convertir como algo suyo el trabajo cotidiano, enfrentar actuaciones negativas que afecten la imagen de la organización eléctrica.
- **Trabajo en Equipo:** Trabajar en pro de los objetivos que se desean alcanzar organizando cada uno con sus correspondientes responsabilidades y tareas definidas, teniendo a la cabeza un líder idealmente aceptado por todos.

### **Política**

La empresa eléctrica de Ciego de Ávila tiene el propósito de generar, transmitir, distribuir y comercializar energía eléctrica de manera segura, confiable, eficaz y eficiente, mediante el mejoramiento continuo de su desempeño, para que sean satisfechas las necesidades y expectativas de los clientes internos y externos, se reduzcan al mínimo razonable los riesgos asociados a la seguridad y salud en el trabajo,

y se prevenga la contaminación del medio ambiente con un aprovechamiento racional de los recursos.

La dirección de la empresa está comprometida a cumplir con los requisitos de su sistema integrado de gestión, según las normas NC-ISO 9001, NC-ISO 14001 y NC 18001 y los requisitos legales y reglamentarios aplicables.

Para lograr esos objetivos se garantiza que el personal esté provisto de la formación, competencia, recursos necesarios; y que esta Política le sea comunicada y que sea entendida.

La Política será revisada para su continua adecuación y para que sirva de marco para el establecimiento de los objetivos, metas y programas en todos los niveles y funciones de la empresa.

Compromisos de la política:

- Generar, transmitir, distribuir y comercializar energía eléctrica de manera segura, confiable, eficaz y eficiente.
- El mejoramiento continuo de su desempeño.
- Satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes internos y externos.
- Reducir al mínimo razonable los riesgos asociados a la seguridad y salud en el trabajo.
- Prevenir la contaminación del medio ambiente.
- El aprovechamiento racional de los recursos.
- Cumplir con los requisitos de su sistema integrado de gestión, según las normas NC-ISO 9001, NC-ISO 14001 y NC 18001 y los requisitos legales y reglamentarios aplicables.
- Garantizar que el personal esté provisto de la formación, competencia y los recursos necesarios.

La empresa eléctrica de Ciego de Ávila cuenta con una dirección general, la cual orienta hacia un adecuado desarrollo e implementación del proceso, subordinadas a ella están las direcciones siguientes: comercial; control y finanzas; técnica; recursos humanos; organización, planificación, información y control; órgano de cuadro; así como el grupo de supervisión jurídica. Mientras que a un nivel más operativo se encuentran las UEB ubicadas en los distintos municipios de la provincia. Manteniéndose así un equilibrio entre las responsabilidades y las facultades de cada uno de los departamentos (**anexo 1**).

La empresa eléctrica de Ciego de Ávila está inmersa en un proyecto de inversión, siendo necesario el proceso de toma de decisiones con el fin de elegir dentro de un grupo de locaciones la más idónea para el montaje de los paneles solares. Para ello la

empresa no cuenta con la utilización de métodos que le faciliten la decisión por lo que es de vital importancia la aplicación de métodos multicriterio y de esta forma elegir el mejor lugar para el montaje de parques solares en la provincia. A continuación se mencionan las ocho posibles localizaciones para el primer parque fotovoltaico (**anexo 2**).

**Propuestas de localización para el parque fotovoltaico:**

- Ceballos: Nombre del Panel Solar Fotovoltaico ubicado en el pueblo Ceballos perteneciente al municipio de Ciego de Ávila (**A1**).
- Ciego Norte: Nombre del Panel Solar Fotovoltaico ubicado en el municipio de Ciego de Ávila (**A2**).
- Chambas: Nombre del Panel Solar Fotovoltaico ubicado en el municipio de Chambas (**A3**).
- Venezuela: Nombre del Panel Solar Fotovoltaico ubicado en el municipio de Venezuela (**A4**).
- Bolivia: Nombre del Panel Solar Fotovoltaico ubicado en el municipio de Bolivia (**A5**).
- Cayo Coco: Nombre del Panel Solar Fotovoltaico ubicado en la cayería norte de la provincia, en el municipio de Morón (**A6**).
- Morón: Nombre del Panel Solar Fotovoltaico ubicado en el municipio de Morón (**A7**).
- La Cuba: Nombre del Panel Solar Fotovoltaico ubicado en el municipio de Baraguá (**A8**).

Por consiguiente, el objetivo de este trabajo es la selección de la localización del parque solar (alternativa) a desarrollar de forma inicial, para lo cual se tendrán en cuenta varios criterios, principalmente de corte económico, que son de interés para el centro decisor, en este caso, la empresa eléctrica de Ciego de Ávila.

Los criterios que se tendrán en cuenta en el problema son criterios económicos y de aspectos técnicos necesarios en un parque fotovoltaico para tomar la decisión más adecuada.

Se pretende en el modelo minimizar el costo total que no es más que la cantidad de dinero total que se invierte en construcción y montaje (movimiento de tierra, perforación y replanteo, cimentaciones, montaje de mesas, alquiler de equipos, transportación de material, control de calidad, cercado perimetral, malla tierra, alumbrado, hidráulica sanitaria, garita, gastos generales de administración montaje de paneles y eléctricos) y todo lo relacionado con equipos (módulos fotovoltaicos, casa de

control, cajas concentradoras, inversores, completamiento de módulos, transportación de equipos.) y otros costos relacionados con aspectos de los paneles que es la cantidad de dinero total que se invierte en gastos de proyectos eléctricos y civiles, gastos IPF (Instituto de planificación física), transporte de personal, puesta en marcha, estudios geológicos, meteorológicos y riesgos, servicio ingeniero.

Se pretende minimizar la distancia que es la suma de la distancia estimada desde el parque hasta el punto de conexión en kilómetros (Km) (punto de conexión es una línea que pasa cerca de cada posible locación para los parques) y la distancia del punto de conexión hasta el sistema eléctrico conectado al sistema eléctrico nacional. Maximizar la potencia que es la cantidad de energía absorbida por el parque en mega watt (MW).

El carácter multiobjetivo del problema descrito viene dado por la existencia de criterios en conflicto pues, a simple vista no se puede determinar cuál será la mejor alternativa porque no existe una que domine a las demás completamente.

En **la tabla 7** se establecen los valores de los criterios definidos anteriormente para cada alternativa de decisión, los cuales fueron tomados de datos recopilados a través de entrevistas y análisis de documentos de la empresa eléctrica de Ciego de Ávila (**anexo 3 y 4**).

**Tabla 7:** Valores de los criterios para cada alternativa

<b>Alternativas</b>	<b>Costo total (CUP)</b>	<b>Distancia (Km)</b>	<b>Potencia (MW)</b>	<b>Otros Costos (CUP)</b>
<b>Ceballos</b>	3096877	0,2	4,4	252911
<b>Ciego Norte</b>	3089757	1	4,4	263011
<b>Chambas</b>	3101077	2,7	5	252211
<b>Venezuela</b>	3099077	5,1	2,2	264011
<b>Bolivia</b>	3091577	16,1	2	251911
<b>Cayo Coco</b>	3101277	0,55	2,2	256468
<b>Morón</b>	3090857	0,35	5	262011
<b>La Cuba</b>	3100287	0,2	2,2	256211

**Fuente:** Elaboración Propia.

### **3.2. Aplicación de métodos de pre-análisis**

Después de aplicado el método de dominación buscando disminuir el número de alternativas que son dominadas por otras se concluye que la alternativa 1 domina a las

alternativas 4, 6 y 8 por lo tanto se eliminan del conjunto de alternativas. Posteriormente se aplica el método de satisfacción cuyos umbrales son:

Umbrales:  $\leq 3101277$        $\leq 0.35$        $\geq 2$        $\leq 264011$   
**A6**                      **A6**                      **A5**                      **A4**

Por lo que se concluye que la alternativa 5 se elimina pues las alternativas 6 y 4 ya estaban eliminadas por el análisis de dominación.

### 3.3. Proceso de normalización y homogenización

Para que los criterios estén en el mismo criterio de decisión y para obtener escalas comparables entre los mismos se realizaron los procesos de homogenización y normalización; para este último se utilizó el procedimiento fracción del total, cuyo resultado se puede apreciar en la **tabla 2**.

**Tabla 8:** Matriz de los valores homogenizados

Alternativas	Costo total (CUP)	Distancia (Km)	Potencia (MW)	Otros Costos (CUP)
<b>Ceballos</b>	3096877	0,2	0,227	252911
<b>Ciego Norte</b>	3089757	1	0,227	263011
<b>Chambas</b>	3101077	2,7	0,2	252211
<b>Morón</b>	3090857	0,35	0,2	262011

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Tabla 9:** Matriz de los valores normalizados

Alternativas	Costo total (CUP)	Distancia (Km)	Potencia (MW)	Otros Costos (CUP)
<b>Ceballos</b>	0.250	0,047	0,265	0.245
<b>Ciego Norte</b>	0.249	0,235	0,265	0.255
<b>Chambas</b>	0.250	0,635	0,234	0.244
<b>Morón</b>	0.249	0,082	0,234	0.254

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.4. Cálculo de los pesos de los criterios

Para estimar las preferencias relativas se utilizó el método de la Entropía por ser uno de los más utilizados. Los pesos relativos a cada criterio se pueden apreciar en la siguiente tabla.

**Tabla 10:** Valores de los pesos calculados, por el método de la Entropía, para cada criterio.

<b>Criterio</b>	<b>Costo total</b>	<b>Distancia</b>	<b>Potencia</b>	<b>Otros Costos</b>
<b>Peso</b>	0,01	0,97	0,01	0,01

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.5. Aplicación de los métodos multicriterio

#### 3.5.1. Aplicación del método de la escuela americana: AHP

Obtención de las matrices de comparaciones binarias (**anexo 5**).

**Proceso de sintetización (Anexo 6):**

**Tabla 16:** Resultado del proceso de sintetización (vector de prioridad)

<b>Criterios</b>	<b>Costo total</b>	<b>Distancia</b>	<b>Potencia</b>	<b>Otros costos</b>
0,406	0,31	0,454	0,125	0,460
0,0975	0,46	0,15	0,125	0,067
0,287	0,134	0,06	0,375	0,328
0,207	0,067	0,321	0,375	0,134

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Proceso de consistencia:**

Vector de sumas ponderadas (**anexo 7**).

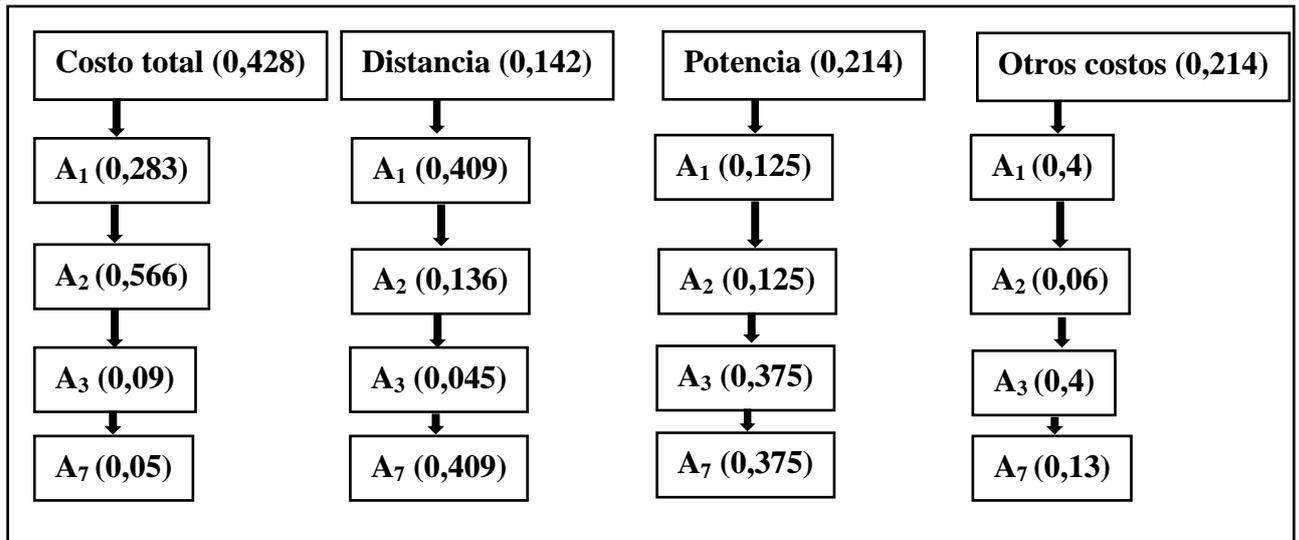
**Tabla 17:** Resultados del proceso de consistencia

	<b>Criterios</b>	<b>Costo total</b>	<b>Distancia</b>	<b>Potencia</b>	<b>Otros costos</b>
	4,15	4,11	4,06	3,98	4,02
	4,06	3,95	3,90	3,98	4,35
	4,16	3,89	4,40	4	3,94
	4,07	3,39	4,04	4	3,94
$\lambda_{max}$	4,11	3,837	4,10	3,99	4,06
Ic	0,037	-0,054	0,033	-0,0033	0,020
Rc	0,041	-0,06	0,037	-0,0037	0,022

**Fuente:** Elaboración Propia.

Se concluye que el nivel de consistencia es razonable pues todas las relaciones de consistencias calculadas son  $\leq 0,10$ .

**Estructura del AHP, Elección del sitio del parque fotovoltaico (ver Figura 5.)**



**Figura 5.** Estructura del AHP.

**Resultados finales:**

$$A_1 = 0,283(0,428) + 0,409(0,142) + 0,125(0,214) + 0,4(0,214) = 0,291$$

$$A_2 = 0,566(0,428) + 0,136(0,142) + 0,125(0,214) + 0,06(0,214) = 0,301$$

$$A_3 = 0,09(0,428) + 0,045(0,142) + 0,375(0,214) + 0,4(0,214) = 0,210$$

$$A_7 = 0,05(0,428) + 0,409(0,142) + 0,375(0,214) + 0,13(0,214) = 0,187$$

Se concluye que la mejor alternativa es la 2 (Ciego Norte) aunque por los resultados se puede apreciar que la alternativa 1 (Ceballos) es aceptable pues la diferencia de los pesos entre ellas es solamente 0,01.

**3.5.2. Aplicación del método de la escuela europea: ELECTRE**

Matriz normalizada (fracción del rango) y ponderada (**anexo 8**)

Matriz de índices de concordancia y discordancia (**anexo 9**)

**Cálculo de los umbrales**

- Umbral Mínimo de concordancia  $c = 0,5$
- Umbral Máximo de discordancia  $d = 0,53$

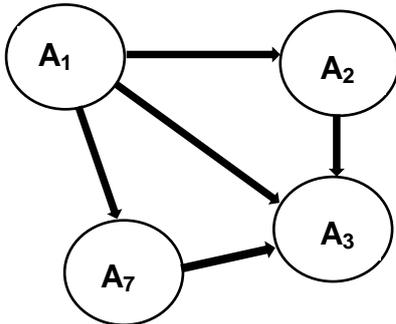
Matriz de dominancia concordante y discordante (**anexo 10**).

**Tabla 27:** Matriz de dominancia agregada

	Costo total	Distancia	Potencia	Otros Costos
<b>Ceballos</b>	-	1	1	1
<b>Ciego Norte</b>	0	-	1	0
<b>Chambas</b>	0	0	-	0
<b>Morón</b>	0	0	1	-

**Fuente:** Elaboración Propia.

Grafo ELECTRE (ver **Figura 6.**)



**Figura 6.** Grafo ELECTRE

Se concluye que el núcleo del grafo ELECTRE es la alternativa 1 (Ceballos).

### 3.6. Comparación de resultados

Al desarrollar el método AHP se concluye que la mejor alternativa es la 2 (Ciego Norte), mientras que el método ELECTRE brinda como resultado que la alternativa 1 es el núcleo, domina a las demás y por tanto es la mejor.

Al comparar ambos métodos estos deben brindar el mismo resultados, es decir la misma alternativa a elegir, pero como se puede apreciar al desarrollarlos no resultó la misma para seleccionar, esto puede estar dado a que en el método AHP se realizó un trabajo manual con la utilización de valores decimales, además se puede apreciar que entre la mejor alternativa (Ciego Norte) y la segunda mejor (Ceballos) los pesos resultantes para tomar la decisión solo presentan una diferencia de 0.01, es decir que la alternativa Ceballos es aceptable para montar el parque solar

Por lo mencionado anteriormente y al analizar los resultados de ambos métodos multicriterio utilizados, se concluye que la mejor decisión de ubicación para construir el primer parque fotovoltaico en la provincia de Ciego de Ávila es la alternativa 1 (Ceballos).

### 3.7. Conclusiones parciales

1. Se concluyó que los métodos empleados son apropiados para la selección de ofertas competitivas en beneficio de la entidad en que se aplique.
2. El empleo de los métodos multicriterio posibilitó la elección de la localización del primer parque solar que se desea montar en la provincia de Ciego de Ávila, identificando como la más eficiente la alternativa Ceballos.

3. Los resultados arrojados por los métodos multicriterio aportarán a la empresa objeto de estudio una información valiosa para la toma de decisiones en la selección de la ubicación de los posteriores parques fotovoltaicos a instalar.

## CONCLUSIONES GENERALES

Luego de efectuada la presente investigación se arribó a las conclusiones siguientes:

1. La revisión de la bibliografía que conforma el marco teórico referencial del estudio, mostró la existencia de distintos métodos multicriterio para la selección de alternativas, que brinden beneficios para la entidad en que se apliquen.
2. Los dos métodos multicriterio empleados se muestran como herramientas ventajosas para la elección de alternativas competitivas en cualquier empresa, puesto que apoya el proceso de toma de decisiones mediante el análisis de varios criterios permitiendo a la entidad determinar la más idónea.
3. La aplicación de los métodos multicriterio en la empresa objeto de estudio evidenció sus ventajas aportándole a esta un procedimiento para el proceso de toma de decisiones el cual obtiene resultados óptimos beneficiosos para la entidad.
4. Los resultados que arrojó el empleo de la herramienta matemática propuesta permitieron mejorar el proceso de toma de decisión en la empresa mediante la selección de la localización del parque solar fotovoltaico, siendo esta la alternativa Ceballos dentro de varias locaciones posibles.

## **RECOMENDACIONES**

1. Aplicar los métodos multicriterio para todo el proceso de inversión de parques fotovoltaicos que se desean montar en la provincia para el logro de resultados superiores.
2. Identificar los resultados arrojados por la herramienta matemática como información significativa para la toma de decisiones y para el perfeccionamiento empresarial.
3. Continuar la presente investigación en posteriores presentaciones científicas y publicaciones con el objetivo de perfilar los métodos multicriterio para aumentar su practicidad.

**BIBLIOGRAFÍA**

- AVENDAÑO, E. R. T. 2017. *Implementación de métodos para la toma de decisiones multi-criterio en diviz para evaluar el uso de herramientas en el Eva Moodle*. Ingeniero en sistemas informáticos, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- BELLO, S. R. 2006. *Toma de decision multicriterio con AHP, ANP y Logica difusa* Universidad Nacional de Colombia.
- BLANCA CEBALLOS, M. T. L., DAVID PELTA. 2015. *Una Comparativa de Modelos de Decisión Multi-Criterio Difusos*. ETSI Informática y de Telecomunicación, Universidad de Granada.
- CHÁVEZ, M. V. H. 2013. Metodología de análisis multicriterio aplicación al crecimiento sostenible en la Unión Europea. *UNMSM*, 16.
- DEVCO, E. U. 2015. *Análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades) - SWOT* [Online].
- GONZALEZ, K. J. Á. 2012. *Estudio del Método de Suma Ponderada en Problemas Clásicos de Optimización Multiobjetivo*. Licenciada en Ciencias Matemáticas, Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado.
- HERNÁNDEZ, C. P., INGRID; GIRAL, DIEGO 2015. Modelo AHP-VIKOR para handoff espectral en redes de radio cognitiva. *Tecnura*, 19, 29-39.
- ISLAS, J. G. 2009. *Las líneas estrategicas del sector hidrico en Mexicio en materia de investigacion, desarrollo tecnologico y formacion de recursos humanos: una jerarquizacion empleando el metodo PROMETHEE*. Maestro en ingenieria de sistemas - palneacion, Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- JIMÉNEZ, T. L. 2009. *Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y “Soft Computing”*. Tesis Doctoral, Universidad Politecnic de Cartagena
- LOAIZA, J. F. R. 2016. *Aplicación de Métodos Multi-criterio (MCDA) para planeamiento energético de largo plazo en la industria del cemento*. Universidad Nacional de Colombia.
- MALDONADO, I. E. I. V. 2010. *Pautas para la selección de las técnicas AHP, PROMETHEE y Ábaco de Régnier modificado*. Maestria en Ingenieria Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN, D. D. P. R., JOHN FREDDY GALVIS MARTÍNEZ, MARLON LEONARDO RODRÍGUEZ SIERRA 2017. Método de sumas

ponderadas para selección de sistemas energéticos no convencionales. *Prospect.*, 15, 7-12.

MARTÍNEZ, J. A. B. Y. F. G. 2012. Nuevos metodos de valoracion. Modelos multicriteiros. *In: VALENCIA, E. U. P. D. (ed.)*.

MS.C. ING. ALINA DÍAZ CURBELO, D. C. F. M. D. Y. I. Y. M. R. 2012. *Manual de Metodos Multicriterio para la toma de decisiones*. Ingenieria Industrial, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

PÉREZ, A. C. 2013. *La decision multicriterio ; aplicacion en la seleccion de ofertas competitivas en edificacion*. Gestion, Universidad Politecnica Valencia

REDONDO, S. A. B. Y. F. L. 2007. La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el ahp) en un entorno de competitividad creciente. *Cuad. Adm. Bogotá (Colombia)*, 20, 65-87.

ROMANA, B. M. Y. M. G. 2016. Aplicación de métodos de decisión multicriterio discretos al análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructuras de transporte. 4, 027–046.

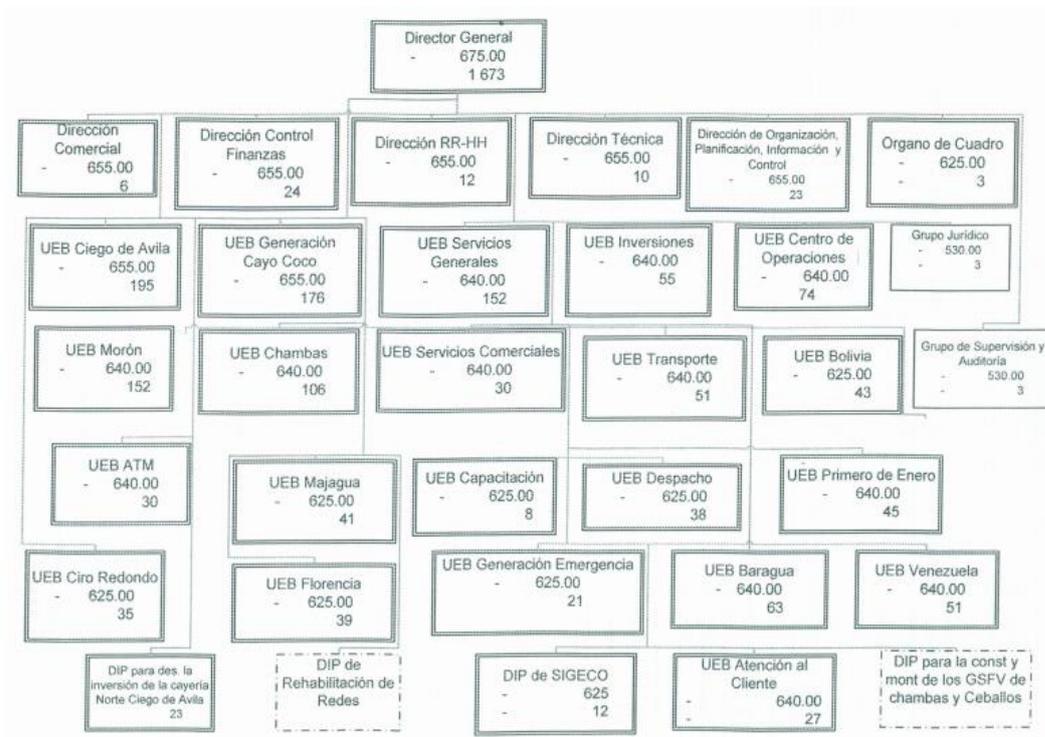
ROMERO, C. 1996. *Analisis de decisiones multicriterio* [Online]. Espana.

SIGÜENZA, O. M. S. 2017. *Aplicación de métodos de optimización para electrificación en zonas rurales de Ecuador*. Mestrado en Ingenieria de Energias y Ambiente, Escuela Superior de Tecnología de Gestión

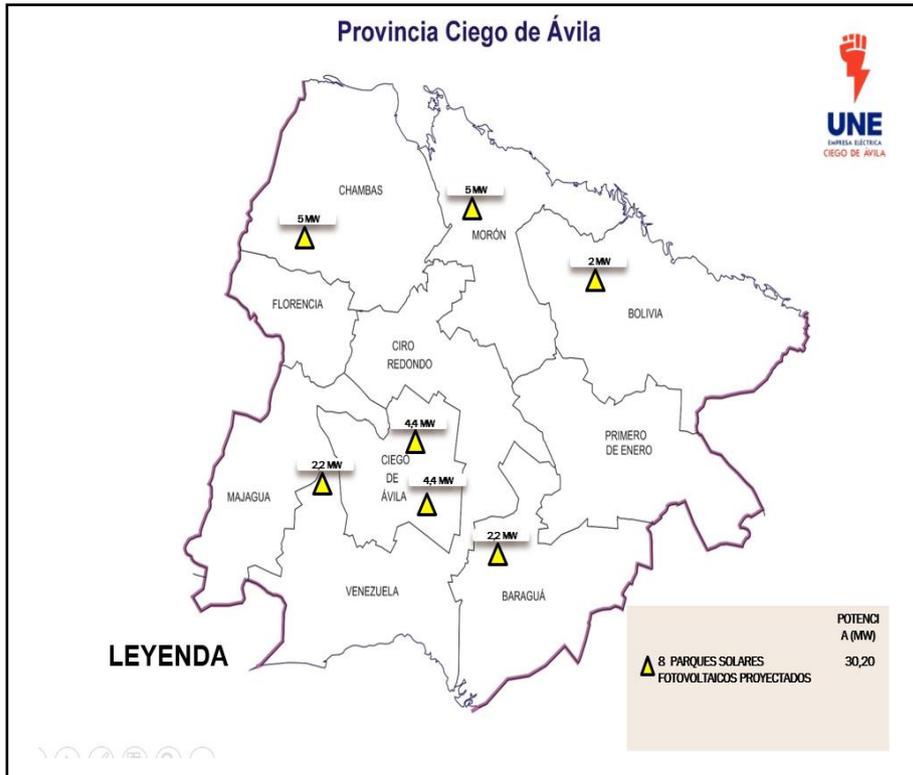
VITORIANO, B. 2007. *Teoria de la decision: Decision de insertidumbre, Decision Multicriterio y Teoria de Juegos* Universidad Complutense Madrid

XAVIER GIRONES, D. M. Y. A. V. 2008. *Comparacion de Dos Metodos de Toma de Decisiones Multicriterio: MACBETH y PROMETHEE*. Universitat Rovira y Virgili.

ZAMORA, I. C. 2010. *Las decisiones multicriterios: que tan factible es su uso; y recomendacion en pequenas y medianas empresas* Universidad de Cuenca.

**ANEXOS**
**Anexo 1. Estructura Organizativa Empresa Eléctrica de Ciego de Ávila**


**Anexo 2.** Posibles locaciones para parque solar fotovoltaico.



**Anexo 3. Datos Técnicos.**

Nombre del PSFV	Programa	Poten.Inst al MW	Área (ha)	Distancia estimada desde el parque hasta el punto de conexión	S/E a la cual se conecta	Distancia desde el punto de conexión hasta la S/E del SEN
<u>Morón</u>	MOFCO M	5	9	0,15	Morón	0,2
Chambas	15 MW PN 2017	5	22	0,2	Chambas	2,5
Venezuela	100 MW	2,2	8,85	0,1	Carolina	5
Bolivia	50 MW	2	3,6	0,1	Violeta	16
Ceballos	100MW Fondo V	4,4	7,6	0,1	Ceballos	0,1
La Cuba	200 IE	2,2	9	0,1	La Cuba	0,1
Cayo Coco		2,2	11			
Ciego Norte	39,6MW	4,4	9	0,3	Violeta	0,7
<b>Potencia MW</b>		<b>27,4</b>	<b>80,05</b>			

**Anexo 4.** Datos Económicos de Ceballos.

Presupuesto estimado	Parque Solar		TOTAL
	CUP	CUC	
<b>Total General</b>	<b>1.475.323,87</b>	<b>1.621.553,93</b>	<b>3.096.877,80</b>
<b>Construcción y montaje</b>	<b>1.152.295,99</b>	<b>462.957,56</b>	<b>1.615.253,54</b>
Desbroce para estudios	7.539,91	0,00	7.539,91
Movimiento de tierra	259.506,15	54.844,44	314.350,59
Perforación y replanteo	95.065,05	44.728,10	139.793,15
Cimentaciones	91.993,36	43.282,88	135.276,24
Montaje de mesas	253.240,48	119.149,64	372.390,12
Alquiler de equipos	10.381,75	8.485,62	18.867,38
Transportación de materiales	23.612,93	5.371,19	28.984,12
Control de calidad ENIA	13.832,66	444,87	14.277,53
Cercado perimetral	10.681,97	5.023,19	15.705,16
Malla tierra	10.084,73	4.739,82	14.824,56
Alumbrado	15.446,03	7.259,63	22.705,66
Hidráulica sanitaria	1.232,63	579,33	1.811,96
Garitas	1.384,06	650,51	2.034,56
Costos directos	13.810,60	6.490,98	20.301,58
Indirectos	76.145,80	35.788,52	111.934,32
Gastos generales de administración	3.051,63	1.434,27	4.485,90
Presupuestos independientes	45.091,15	21.192,84	66.283,99
Montaje de paneles	12.556,94	5.901,76	18.458,70
Montaje eléctrico	207.638,18	97.589,94	305.228,12
<b>Equipos</b>	<b>323.027,88</b>	<b>1.158.596,37</b>	<b>1.481.624,26</b>
Módulos fotovoltaicos	292.500,00	882.000,00	1.174.500,00
Shelter acometida	3.784,56	32.702,58	36.487,15

Shelter final	2.891,90	24.989,35	27.881,24
Casa de control	1.475,84	12.752,77	14.228,60
Cajas concentradoras	3.638,91	30.608,50	34.247,40
Inversores	17.173,83	144.474,06	161.647,88
Completamiento de módulos	1.562,85	13.432,39	14.995,24
Transportación de equipos	0,00	17.636,73	17.636,73
<b>Otros gastos</b>	<b>199.101,45</b>	<b>53.810,02</b>	<b>252.911,47</b>
Proyectos eléctricos INEL	10.368,67	0,00	10.368,67
Proyectos civiles EDIN CFGOS	35.238,39	8.300,30	43.538,69
Gastos IPF	1.058,41	0,00	1.058,41
Transportación de personal	0,00	9.034,28	9.034,28
Puesta en marcha	2.629,07	2.710,34	5.339,41
Estudios geológicos, riesgos, meteorológicos	11.452,64	518,98	11.971,62
Suelo 10 hectáreas	13.285,50	0,00	13.285,50
Servicio ingeniero	125.068,76	33.246,13	158.314,89

## Anexo 5. Matrices de comparaciones binarias

Matriz de comparación de parejas de los criterios

<b>Criterio</b>	<b>Costo total</b>	<b>Distancia</b>	<b>Potencia</b>	<b>Otros Costos</b>
<b>Costo total</b>	1	3	2	2
<b>Distancia</b>	1/3	1	1/3	1/3
<b>Potencia</b>	1/2	3	1	2
<b>Otros Costos</b>	1/2	3	1/2	1

**Fuente:** Elaboración Propia

Matriz de comparación de parejas de las alternativas para el Costo total

<b>Costo total</b>	<b>Ceballos</b>	<b>Ciego Norte</b>	<b>Chambas</b>	<b>Morón</b>
<b>Ceballos</b>	1	1/2	3	5
<b>Ciego Norte</b>	2	1	3	5
<b>Chambas</b>	1/3	1/3	1	2
<b>Morón</b>	1/5	1/5	1/2	1

**Fuente:** Elaboración Propia

Matriz de comparación de parejas de las alternativas para la Distancia

<b>Distancia</b>	<b>Ceballos</b>	<b>Ciego Norte</b>	<b>Chambas</b>	<b>Morón</b>
<b>Ceballos</b>	1	3	5	2
<b>Ciego Norte</b>	1/3	1	3	1/3
<b>Chambas</b>	1/5	1/3	1	1/5
<b>Morón</b>	1/2	3	5	1

**Fuente:** Elaboración Propia

Matriz de comparación de parejas de las alternativas para la Potencia

<b>Potencia</b>	<b>Ceballos</b>	<b>Ciego Norte</b>	<b>Chambas</b>	<b>Morón</b>
<b>Ceballos</b>	1	1	1/3	1/3
<b>Ciego Norte</b>	1	1	1/3	1/3
<b>Chambas</b>	3	3	1	1
<b>Morón</b>	3	3	1	1

**Fuente:** Elaboración Propia

Matriz de comparación de parejas de las alternativas para Otros costos

<b>Otros costos</b>	<b>Ceballos</b>	<b>Ciego Norte</b>	<b>Chambas</b>	<b>Morón</b>
<b>Ceballos</b>	1	5	2	3
<b>Ciego Norte</b>	1/5	1	1/5	1/2

<b>Chambas</b>	1/2	5	1	3
<b>Morón</b>	1/3	2	1/3	1

**Fuente:** Elaboración Propia

## Anexo 6. Proceso de sintetización

Matriz sintetizada de los criterios

<b>Criterio</b>	<b>Costo total</b>	<b>Distancia</b>	<b>Potencia</b>	<b>Otros Costos</b>	<b>Medias</b>
<b>Costo total</b>	0,428	0,3	0,521	0,375	0,406
<b>Distancia</b>	0,142	0,1	0,086	0,062	0,0975
<b>Potencia</b>	0,214	0,3	0,26	0,375	0,287
<b>Otros Costos</b>	0,214	0,3	0,13	0,187	0,207

**Fuente:** Elaboración Propia

Matriz sintetizada del criterio costo total

<b>Costo total</b>	<b>Ceballos</b>	<b>Ciego Norte</b>	<b>Chambas</b>	<b>Morón</b>	<b>Medias</b>
<b>Ceballos</b>	0,283	0,245	0,4	0,384	0,31
<b>Ciego Norte</b>	0,566	0,491	0,4	0,384	0,46
<b>Chambas</b>	0,09	0,163	0,13	0,153	0,134
<b>Morón</b>	0,05	0,09	0,06	0,07	0,067

**Fuente:** Elaboración Propia

Matriz de sintetizada del criterio distancia

<b>Distancia</b>	<b>Ceballos</b>	<b>Ciego Norte</b>	<b>Chambas</b>	<b>Morón</b>	<b>Medias</b>
<b>Ceballos</b>	0,491	0,409	0,35	0,566	0,454
<b>Ciego Norte</b>	0,163	0,136	0,214	0,09	0,15
<b>Chambas</b>	0,09	0,045	0,07	0,05	0,06
<b>Morón</b>	0,245	0,409	0,35	0,283	0,321

**Fuente:** Elaboración Propia

Matriz sintetizada del criterio potencia

<b>Potencia</b>	<b>Ceballos</b>	<b>Ciego Norte</b>	<b>Chambas</b>	<b>Morón</b>	<b>Medias</b>
<b>Ceballos</b>	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
<b>Ciego Norte</b>	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
<b>Chambas</b>	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375
<b>Morón</b>	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375

**Fuente:** Elaboración Propia

Matriz sintetizada del criterio otros costos

<b>Otros costos</b>	<b>Ceballos</b>	<b>Ciego Norte</b>	<b>Chambas</b>	<b>Morón</b>	<b>Medias</b>
<b>Ceballos</b>	0,491	0,384	0,566	0,4	0,460

<b>Ciego Norte</b>	0,09	0,07	0,05	0,06	0,067
<b>Chambas</b>	0,245	0,384	0,283	0,4	0,328
<b>Morón</b>	0,163	0,153	0,09	0,13	0,134

**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 7. Proceso de consistencia**

Vector de sumas ponderadas

<b>Criterios</b>	<b>Costo total</b>	<b>Distancia</b>	<b>Potencia</b>	<b>Otros costos</b>
1,685	1,277	1,846	0,497	1,853
0,394	1,817	0,585	0,497	0,2916
1,195	0,522	0,2645	1,5	1,295
0,844	0,227	1,298	1,5	0,528

**Fuente:** Elaboración Propia

### Anexo 8. Matriz normalizada (fracción del rango) y ponderada

Matriz normalizada por la fracción del rango

	<b>Costo total</b>	<b>Distancia</b>	<b>Potencia</b>	<b>Otros Costos</b>
<b>Ceballos</b>	273,58	0,08	7,33	23,42
<b>Ciego Norte</b>	272,95	0,4	7,33	24,35
<b>Chambas</b>	273,95	1,08	8,33	23,35
<b>Morón</b>	273,04	0,14	8,33	24,26

**Fuente:** Elaboración Propia

Matriz de decisión normalizada y ponderada

	<b>Costo total</b>	<b>Distancia</b>	<b>Potencia</b>	<b>Otros Costos</b>
<b>Ceballos</b>	2,74	0,08	0,07	0,234
<b>Ciego Norte</b>	2,72	0,39	0,07	0,243
<b>Chambas</b>	2,74	1,05	0,08	0,233
<b>Morón</b>	2,73	0,14	0,08	0,242

**Fuente:** Elaboración Propia

## Anexo 9. Matriz de índices de concordancia y discordancia

Matriz de índices de concordancia

Alternativas	Ceballos	Ciego Norte	Chambas	Morón
<b>Ceballos</b>	-	0,985	0,98	0,98
<b>Ciego Norte</b>	0,015	-	0,98	0,98
<b>Chambas</b>	0,02	0,02	-	0,015
<b>Morón</b>	0,02	0,02	0,985	-

**Fuente:** Elaboración Propia

Matriz de índices de discordancia

Alternativas	Ceballos	Ciego Norte	Chambas	Morón
<b>Ceballos</b>	-	0,06	0,01	0,17
<b>Ciego Norte</b>	1	-	0,02	1
<b>Chambas</b>	1	1	-	1
<b>Morón</b>	1	0,04	0,01	-

**Fuente:** Elaboración Propia

## Anexo 10. Matriz de dominancia concordante y discordante

Matriz de dominancia concordante

Alternativas	Ceballos	Ciego Norte	Chambas	Morón
<b>Ceballos</b>	-	1	1	1
<b>Ciego Norte</b>	0	-	1	1
<b>Chambas</b>	0	0	-	0
<b>Morón</b>	0	0	1	-

**Fuente:** Elaboración Propia

Matriz de dominancia discordante

Alternativas	Ceballos	Ciego Norte	Chambas	Morón
<b>Ceballos</b>	-	1	1	1
<b>Ciego Norte</b>	0	-	1	0
<b>Chambas</b>	0	0	-	0
<b>Morón</b>	0	1	1	-

**Fuente:** Elaboración Propia