

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Departamento de
Ingeniería Industrial

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Análisis comparativo de métodos multicriterio para la selección de un proyecto de inversión en la Empresa Integrada de Servicios Automotores

Autor: Yailín Pérez Guerra

Tutores: Dr.C Javier Alfonso Asencio García

Santa Clara, Junio 2019
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Academic Department of
Industrial Engineering

DIPLOMA THESIS

Title: comparative analysis of multicriteria methods to the selection of an inversion Project in the Integrate Enterprise of Automotor Service

Author: Yailín Pérez Guerra

Thesis Director: Dr.C Javier Alfonso Asencio García

Santa Clara, June, 2019
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



DEDICATORIA

A Mileydis Guerra y Humberto Pérez, mis puertos seguros a través de cada tormenta.

AGRADECIMIENTOS

Al culminar esta etapa de mi vida quiero agradecer:

A mis padres, Mileydis y Humberto, quienes han estado junto a mí en cada paso de mi vida aconsejándome, apoyándome, riendo conmigo en mis momentos felices y no dejándome caer en los momentos de tristeza.

A mi tía Sonia, gracias porque nunca se ha cansado de preocuparse por mí, darme consejos y darme aliento en mi vida y en especial en estos cinco años de estudio.

A mis abuelos, por siempre preocuparse por mí desde siempre.

A mi novio y compañero en este viaje que ha sido la Universidad, por hacerme confiar en que se puede seguir adelante cada vez que he pensado en darme por vencida.

A mis mejores amigas, Massiel, Tatiana y Chabely, por no permitir que la distancia sea un impedimento y por estar siempre ahí para mí cuando las he necesitado.

A mis amigos; compañeros de estudio, de incontables momentos buenos y otros no tan buenos. Gracias a todos.

A mi tutor Javier Asencio por la asistencia, la cooperación, y por proporcionarme sus conocimientos y experiencias en la realización de este proyecto. Gracias por su formalidad y responsabilidad con la que nos guió en el transcurso de estos meses.

Al claustro de profesores de Ingeniería Industrial por su labor en la formación de profesionales. Gracias por sus conocimientos y enseñanzas en cada clase.

Resumen

En muchas situaciones, los seres humanos han de tomar decisiones. Las personas que tienen que asumir la responsabilidad de tomar decisiones difíciles cuyas consecuencias influirán en el proyecto o en la organización a la que pertenecen o dirigen, están sometidas a tensiones profesionales y emocionales. Estas decisiones difíciles se caracterizan por observar intereses contrapuestos, tener elementos de incertidumbre, o poseer elementos difícilmente valorables. Es de gran utilidad tener el mayor número de herramientas posibles de las que podamos servirnos para elegir la alternativa idónea. La presente investigación se apoya en un grupo de herramientas matemáticas conocida como métodos multicriterio, los cuales hacen más eficaz y eficiente el proceso de toma de decisión. La misma está encaminada a facilitar la selección del proyecto más factible para la empresa EISA. Con el fin de apoyar este proceso de selección importante por su impacto en la eficiencia del proceso, se toma como objeto de estudio la empresa EISA de Villa Clara cuyo propósito es satisfacer los requerimientos técnicos del funcionamiento del transporte automotor, con la calidad requerida y al menor costo posible. Por esta razón se propone emplear dentro de los métodos multicriterio las técnicas: Suma Ponderada y PROMETHEE (Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluations) con el propósito de comparar los resultados que brinden dichas técnicas, teniendo en cuenta un grupo de criterios estudiados minuciosamente. Dándole a la empresa una solución óptima, mayor credibilidad al resultado final y un aumento en la eficacia y eficiencia en el proceso de toma de decisiones.

Palabras claves: toma de decisiones, métodos multicriterio, Suma Ponderada, PROMETHEE



Summary

To support decision making in companies and ensure that it is made 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 aimed at facilitating the selection of a project in order to increase the satisfaction of the workers and obtain an improve on the image of the company, taking as an object of practical study the Empresa Integrada de Servicios Automotores (EISA). For this reason, it is proposed to use the techniques: Weighted Sum and PROMETHEE (Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluations) within the multicriteria methods and to compare the results offered by these techniques. These tools have emerged during the last decades in order to face the need to speed up and improve the process of decision-making, due to an increasingly dynamic and competitive environment that forces decisions to be taken with agility based on multiple criteria and characterized by its complexity and alternative diversity.

Keywords: decision making, multicriteria methods, weighted sum, PROMETHEE.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo I. Marco teórico y referencial de la investigación	5
1.1. Estrategia para la construcción del marco teórico referencial.....	5
1.2. Teoría de la decisión.....	6
1.2.1. Conceptos básicos sobre decisión	10
1.3. Enfoque Multicriterio vs Monocriterio	12
1.4. Métodos Multicriterio. Recorrido histórico.....	16
1.5. Paradigmas	20
1.6. La ayuda a la decisión multicriterio	21
1.6.1. Un cambio de actitud y de comportamiento: desde la Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM) hacia la Ayuda a la Decisión Multicriterio (MCDA)	22
1.6.2. Estructura General del Enfoque de Ayuda a la Decisión Multicriterio (MCDA)	23
1.6.3. ¿Qué expectativas existen en torno a la Ayuda a la Decisión Multicriterio?	24
1.7. Métodos Multicriterio Cualitativos	28
1.8. Métodos Multicriterio continuos	33
1.9. Métodos Multicriterio Discretos.....	33
1.9.1 La Escuela Americana.....	34
1.9.2 La Escuela Europea	36
1.9.3 Otros métodos de decisión multicriterio discretos	39
1.10. Aplicaciones de los métodos multicriterio	40
1.10.1. Aplicaciones de métodos multicriterio a las diferentes etapas de un proyecto ..	41
1.11. Preferencias o prioridades como resultado de la aplicación de los métodos multicriterio	43
1.12. Conclusiones Parciales	44
Capítulo 2. Procedimiento general para la aplicación de métodos multicriterio.....	46
2.1. Introducción.....	46
2.2. Procedimiento para la aplicación de métodos multicriterio	46
2.3. Elementos básicos	47
2.4. Métodos de determinación de pesos de los criterios	48

2.4.1. Métodos objetivos	48
2.4.2. Métodos subjetivos	50
2.5. Métodos no compensatorios	54
2.5.1. Método de Satisfacción	55
2.5.2. Método Lexicográfico	55
2.6. Métodos compensatorios	56
2.6.1. Método de Dominación	56
2.6.3. Método de las permutaciones	58
2.7. Aplicación de métodos multicriterio	58
2.7.1. Método de la suma ponderada (utilidad aditiva)	59
2.7.2. Los métodos PROMETHEE I y II.....	59
2.8 Conclusiones parciales	65
Capítulo III: Aplicación del procedimiento metodológico para la toma de decisiones con enfoque multicriterio	67
3.1. Introducción.....	67
3.2. Formulación del problema.....	67
3.2. Aplicación de métodos de pre-análisis	73
3.3. Proceso de normalización y homogenización	73
3.4. Cálculo de los pesos de los criterios	74
3.5. Aplicación de los métodos multicriterio.....	75
3.5.1. Aplicación del método de la escuela americana: Suma ponderada.....	75
3.5.2. Aplicación del método de la escuela europea: PROMETHEE.....	75
3.6. Comparación de resultados.....	80
3.7. Conclusiones parciales	81
Conclusiones generales.....	82
Recomendaciones	83
Bibliografía.....	84
ANEXOS	87

Introducción

El turbulento entorno socio-económico en que actualmente se encuentran las empresas, motivado por la fuerte globalización de los mercados la rápida aceleración del cambio tecnológico, lleva a éstas a la necesidad de operar en forma de organizaciones más ágiles y flexibles que le permitan trabajar de manera más competitiva para sus clientes e innovar mediante el desarrollo o mejora de procesos.

En proyectos de ingeniería, la toma de decisión es una actividad intelectual esencial, que forma parte de la fase creativa del proyecto, sin la cual este no puede progresar. Durante el desarrollo de un proyecto se toman decisiones complejas; esta complejidad viene marcada por el entorno de incertidumbre en el que se desarrollan, como es la trascendencia que muchas de estas decisiones tienen para el proyecto, debido a las responsabilidades que ello implica para los proyectistas o directores de proyecto, por los agentes implicados o afectados por la decisión adoptada y por los diferentes criterios o puntos de vista que hay que tener en cuenta y que a menudo están en conflicto.

La toma de decisiones de inversión en nuevos emprendimientos, compañías en etapas de alto crecimiento y cierto tipo de nuevos proyectos, implican un alto riesgo para los inversionistas, dadas las características de este tipo de proyectos.

La toma de decisiones de inversión, que típicamente involucra alto riesgo, entraña una valoración de las mismas, que, junto con una evaluación de otros factores permite la definición de las reglas de juego de una posible inversión. Este proceso es particularmente difícil porque existen asimetrías de información que podrían generar costos muy altos

Normalmente estas inversiones de alto riesgo se ubican en las primeras etapas del ciclo de vida empresarial, siendo este ciclo definido por el tamaño y el tiempo transcurrido desde su creación. En cada una de estas etapas, las empresas y proyectos presentan distintas características, las cuales son claves para la obtención de sus fuentes de financiación y, además, para estimar y valorar los riesgos ante los cuales se enfrentan los proveedores del capital de las mismas

Para la evaluación y valoración de un nuevo proyecto de inversión, generalmente no hay disponibilidad de información en cuanto a su historia operativa o de proyectos similares

y su valor está sustentado totalmente en su evolución futura, la cual no se conoce, de ahí el alto riesgo y/o incertidumbre de las inversiones de este tipo

Los métodos de análisis y decisión multicriterio suponen una ayuda en forma de herramienta matemática muy útiles. En la mayoría de las ocasiones requieren simplemente unos datos fácilmente obtenibles, donde muchos puntos de vista deben ser tomados en cuenta (frecuentemente contradictorios). No existe, en general, ninguna decisión (solución, acción) la cual sea la mejor simultáneamente desde todos los puntos de vista

Por eso es esencial el uso de la palabra “ayuda”

La Empresa Integral de Servicios Automotores satisface los requerimientos técnicos del funcionamiento del transporte automotor, con la calidad requerida y al menor costo posible, a personas jurídicas cubanas, en territorio nacional, mediante la comercialización de equipos, piezas de repuesto, accesorios, herramientas y materiales sobre la premisa de su entrega en el tiempo oportuno, con condiciones financieras favorables y servicios de post venta, garantía y asistencia técnica.

La alta dirección de la Empresa Integral de Servicios Automotores tiene concebido en su procedimiento de elaboración del plan técnico-económico anual, establecer instrucciones necesarias para la presentación del plan anual, a partir de las premisas, directivas generales y específicas recibidas del Ministerios de Economía y Planificación (MEP), así como la metodología para la elaboración de un plan coherente y ajustado a las posibilidades reales del país en el momento que se practique este.

Con el objetivo de mejorar tanto las condiciones de trabajo como la imagen de la empresa en general, la dirección ha comenzado a desarrollar, desde hace un par de años, el plan directivo: Proyecto Imagen, centrado precisamente en realzar la apariencia de la entidad, reparar e incluso renovar partes de la instalación. El proyecto está a cargo del departamento de desarrollo.

Actualmente la empresa no cuenta con el capital suficiente para desarrollarlos todos de forma conjunta, por lo cual se precisa seleccionar uno que será puesto en marcha inicialmente y, lograr la generación de los ingresos necesarios para la implementación de los restantes proyectos. Para ello se hace necesario la aplicación de métodos

matemáticos que apoyen la toma de decisiones en la organización y que resumen la **situación problemática** de la investigación.

En estos términos se plantea como **problema científico** establecer un estudio sobre los posibles proyectos a evaluar con pluralidad de criterios a través de procedimientos multicriterio con el fin de lograr una toma de decisión más objetiva.

El **objetivo general** de la investigación es desarrollar un proyecto para el mejoramiento del desempeño de la organización mediante la aplicación de métodos multicriterio.

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 sustentar teórica y pertinentemente la investigación, lo que implica exponer aquellas teorías, resultados de estudios precedentes y antecedentes en general que se consideren válidos para la misma. Se consultó bibliografía 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 estrategia adoptada para su desarrollo se muestra en la **figura 1**.

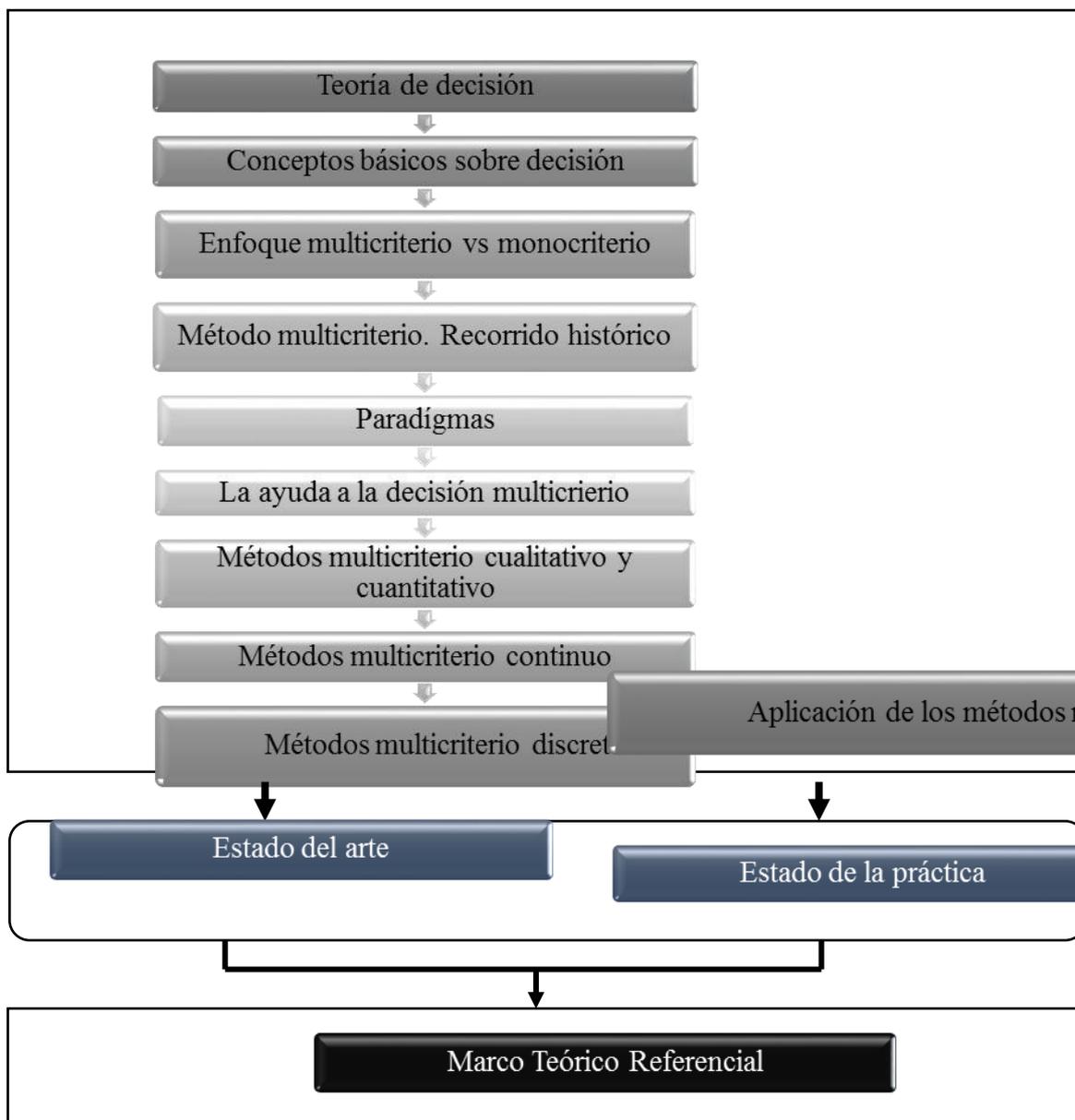


Figura 1. Hilo conductor del Marco Teórico Referencial. **Fuente:** elaboración propia

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 ([Berumen 2016](#)) 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)

La mayoría de los autores de revistas especializadas en la temática coinciden que el proceso de toma de decisiones está compuesto por 8 etapas que se muestran en la **figura 2**.

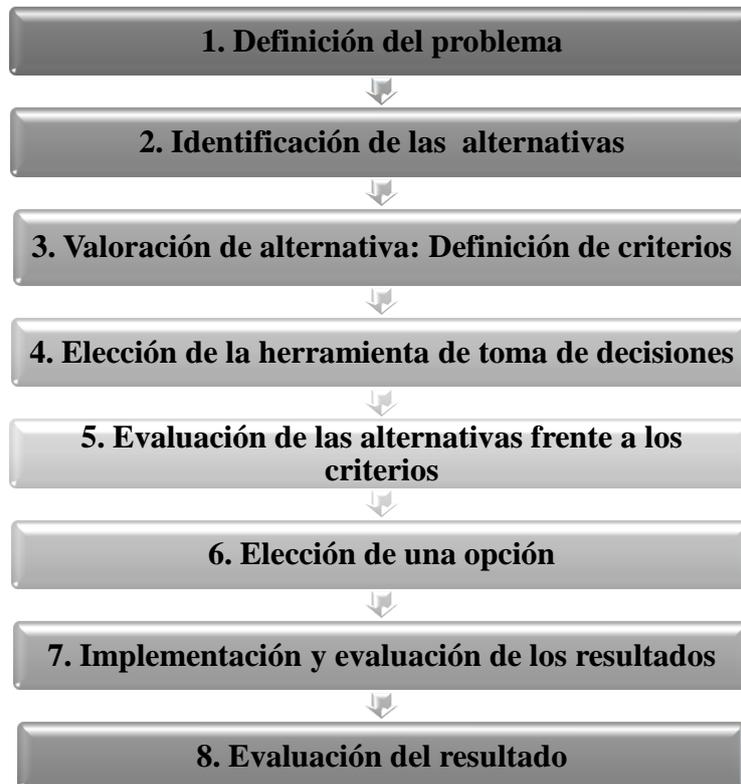


Figura 2. Etapas del proceso de toma de decisiones. **Fuente:** elaboración propia

Las 8 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.

Como expresa ([Ríos 2005](#)) con respecto a la teoría de la decisión, la idea básica es que se pueda entender lo que la gente hace, asumiendo que ellos se comportan racionalmente como individuos.

La teoría de la decisión se ocupa de analizar cómo elige una persona aquella acción que, de entre un conjunto de acciones posibles, le conduce al mejor resultado, dadas sus preferencias. El paradigma canónico de la teoría de la decisión se caracteriza por contar con un individuo que ha de tomar una decisión (cualquiera) y de quien se dan por supuestas sus preferencias; así la teoría de la decisión no entra a considerar la naturaleza de las preferencias de los individuos, ni por qué éstos prefieren unas cosas en vez de otras; lo único que importa es que dichas preferencias satisfagan ciertos criterios básicos de consistencia lógica, entre los que cabe destacar, por su importancia, los siguientes:

- Transitividad: para todo X, Y y Z, si X es preferida estrictamente a Y, Y es preferida estrictamente a Z, X será preferida a Z.
- Exhaustividad: para todo X Y todo Y, o bien X es preferida a Y, o Y es preferida a X, o el individuo es indiferente a ellas.
- Asimetría: si X es preferida estrictamente a Y, Y no es preferida estrictamente a X.
- Simetría de las diferencias: para todo X e Y, si X es indiferente a Y, Y es indiferente a X.

El segundo criterio corresponde a lo que ([Adel Mendoza 2016](#)) refieren en “la teoría de la preferencia del consumidor” como la condición: para dos conjuntos de bienes cualesquiera, A y B, la unidad consumidora puede determinar cuál proporciona mayor satisfacción; si A proporciona más satisfacción que B, se dice que A es preferido a B, y si B provee mayor satisfacción que A, se dice que B es preferida a A; si ambos conjuntos proporcionan la misma satisfacción, se dice que el consumidor es indiferente entre A y B, y si A es indiferente o equivalente a B, B es indiferente a A.

Si estos cuatro requisitos no se cumplen a la vez, será imposible saber qué es lo que el individuo prefiere; no se podrán ordenar, jerarquizar, sus preferencias, y la teoría de la decisión considerará que dicho individuo no elige racionalmente, es decir, de forma lógica y consistente. Cumplir con el requisito de la transitividad implica que no se tome una decisión de tal manera que se resulte perjudicado eligiendo al principio opciones que se prefieran más, X frente a Y, e Y frente a Z, para terminar con una mala opción si elegimos Z frente a X. La exhaustividad exige que el sujeto compare entre sí todas sus opciones y se decida por una de ellas o manifieste su indiferencia (que es una forma de decisión). A la vez, la simetría y la asimetría resultan evidentes de por sí y no parecen imponer una exigencia lógica desmedida al individuo que ha de elegir entre varias opciones: si el individuo es indiferente entre la opción A y la B (o entre la C y la D) no se puede afirmar que prefiera a B sobre A (o a C sobre D); si prefiere estrictamente a B sobre A, se dudará de su coherencia si afirma, a la vez, que también prefiere a A sobre B. Así pues, si estos requisitos se cumplen, se podrá atribuir al individuo una función de utilidad, es decir, un índice o número a cada una de sus preferencias, de forma que se puedan ordenar de menor a mayor, de lo menos preferido a lo más preferido. ([Romero 1996](#))

Dado el nivel de profundidad con que la comunidad internacional de expertos de la temática decisional ha tratado el asunto, existen diferentes elementos que pretenden clarificar las decisiones de diferentes formas. Aunque no existe un indicativo de cuál es la mayor preferencia su desarrollo cronológico ha incurrido desde lo determinístico y estocástico en los inicios hasta la que a continuación exponemos.

La decisión puede ser:

- Bajo certidumbre: se conocen todos los datos de forma determinista
- Bajo riesgo: se refiere a conocer el riesgo
- Bajo incertidumbre: cuando hay riesgo, la incertidumbre es la percepción particular que se tenga del riesgo de una decisión, o de no saber lo que puede ocurrir u ocurra un año dado (en el caso de cultivos: por clima, por precios, etc.), y el productor responde de una manera determinada a ello, según su percepción y capacidad de enfrentar el riesgo

Según ([Sigüenza 2017](#)), cuando se puede especificar la probabilidad de estados futuros de la naturaleza, entonces es posible obtener la decisión bajo riesgo calculado. Luego, el riesgo es esencialmente el valor esperado de lo que se podría perder.

La decisión bajo riesgo se refiere a la condición en la que hay un número dado de estados de la naturaleza y el decisor conoce la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos ([Pacheco and Contreras 2008](#)). Por ejemplo, según ([Herce 2017](#)), por sus propias características y la ubicación geográfica del país, la actividad agrícola en México es altamente vulnerable a la presencia de eventos climáticos extremos, principalmente asociados al exceso o falta de precipitación pluvial. Así, 98% del riesgo de base catastrófico que enfrenta el país responde a sequías principalmente, y que se agrava por la corriente de El Niño, y fenómenos ciclónicos.

La decisión bajo incertidumbre se refiere a que las probabilidades de ocurrencia para los distintos estados de la naturaleza se desconocen ([Sigüenza 2017](#)). El uso de nuevas variedades híbridas de maíz en lugar de las variedades criollas es un ejemplo de una decisión bajo incertidumbre. Cuando la probabilidad calculada para un estado de la naturaleza es menor que 1.0, se está trabajando en una decisión bajo incertidumbre ([Loaiza 2016](#)). De acuerdo con ([Pacheco and Contreras 2008](#)), las palabras incertidumbre, fiabilidad, confianza, giran alrededor del reconocimiento de que el valor de probabilidad reportado es, en más de un sentido, solo un supuesto razonable de lo que el desconocido valor podría ser y se tiene la esperanza de que ese valor esté cerca del valor verdadero, sin embargo se reconoce que cualquier método que se use para determinarlo, tendrá siempre algo de error. ([Ríos 2005](#)) Menciona que el hombre debe hacer planes para el futuro aun cuando no pueda calcular la probabilidad de los hechos futuros, y luego decidir qué resultado es el más probable y con base a ese resultado planificar sus actividades.

1.2.1. Conceptos básicos sobre decisión

Como menciona ([Ríos 2005](#)), la literatura en el tema de toma de decisiones se caracteriza por la ausencia de consenso en cuanto a la definición de sus términos y conceptos. Por tanto, se presentan algunos conceptos tomados principalmente de([Jerónimo Aznar Bellver 2012](#)).

Decisor: es aquella persona que se plantea el problema de decisión.

Analista: es aquella persona que utiliza todos sus conocimientos y toda la información disponible por parte del decisor para ayudar a éste en su toma de decisión.

Decisión: la decisión es una elección entre alternativas; las alternativas pueden representar diferentes caminos de acción, diferentes hipótesis sobre la naturaleza de una característica, diferentes clasificaciones, etc. Un proceso de decisión exitoso resulta en

el desarrollo de decisiones y en la ejecución de esfuerzos que apoyan los objetivos de una organización, como es el caso de una unidad familiar de producción.

Criterio: un criterio es la base para una decisión que puede medirse y evaluarse, y puede ser de dos tipos: factores y limitaciones o restricciones; también se puede decir que es un juicio estándar o una regla para probar la deseabilidad de decisiones alternativas; también es un término genérico que incluye objetivos y atributos, y cualquier problema de decisión multicriterio implica un conjunto de objetivos, un conjunto de atributos, o ambos. No obstante, la distinción entre objetivos y atributos es de la mayor importancia en el proceso de toma de decisiones.

Restricciones/limitantes: una restricción sirve para limitar a las alternativas en consideración, como puede ser, por ejemplo, la exclusión de áreas con más de 12% de pendiente del suelo para la producción comercial de maíz.

Regla de decisión: una regla de decisión es el procedimiento por el cual se eligen y combinan los criterios para llegar a una evaluación particular, y por el cual son comparadas y aplicadas las evaluaciones.

Atributo(s): son las propiedades de los elementos del sistema del mundo real o también una cantidad o calidad medible en un sistema, o también son aquellos valores que el decisor utiliza para caracterizar las distintas alternativas, es decir, las componentes, características y propiedades de los objetos estudiados en el proceso de decisión y se usa para medir el desempeño del atributo en relación a un objetivo. Estos valores pueden medirse con relativa independencia de los deseos y necesidades del decisor, siendo generalmente susceptibles de expresarse como una función matemática de las variables de decisión. Cuando el número de atributos es muy grande, éstos suelen presentarse en una estructura jerárquica.

Alternativa: es cada uno de los objetos, decisiones o proyectos mutuamente excluyentes que serán explorados en el proceso de decisión; muy pocos estudios se han dedicado a la generación de alternativas.

Objetivo: el objetivo es una perspectiva o propósito que sirve para guiar la estructuración de las reglas de decisión, o también es la afirmación acerca del estado deseado del sistema bajo consideración. Los objetivos están funcionalmente relacionados a los atributos, o se derivan de ellos.

Evaluación: es el proceso de aplicar la regla de decisión.

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, se puede 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, o sea, 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 1. 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: ([Ms.C. Ing. Alina Díaz Curbelo 2012](#))

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.

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre los métodos monocriterio contra los métodos multicriterio.

Tabla 2: tabla comparativa entre los métodos monocriterio contra los multicriterio

		"Lo Mejor"	
		Un criterio	Varios criterios
"Lo Posible"	Continuo	Optimización Clásica	Optimización Multiobjetivo
	Discreto	Problema Clásico de decisión	Análisis Multicriterio Discreto

Fuente: ([Redondo 2007](#))

1.4. Métodos Multicriterio. 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. Se puede 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.

1.5. Paradigmas

Se puede entender los paradigmas como metapreguntas de la teoría, las más sencillas, las que justamente por esa calidad no se explicitan ni se cuestionan, sino que se dan como supuestos. Las preguntas que están en la base de la definición de paradigma son la definición de realidad, de los criterios de verdad, de la relación entre la parte y el todo ([Zamora 2010](#)).

El paradigma positivista dice relación con los principios lógicos de la lógica clásica, con el conocimiento objetivo y el método cartesiano. La realidad es un objeto que puede ser estudiado por partes y la lógica inductiva basada en los principios de causalidad, razón necesaria, razón suficiente y determinismo causas para la explicación de los fenómenos formulando regularidades. El análisis y la experimentación requieren de hipótesis que disminuyan lo máximo posible el componente subjetivo de la realidad. El desarrollo científico moderno y la tecnología industrial tienen sus orígenes en el paradigma positivista, esto es, hay partes de la realidad donde su aplicación tiene validez y explicación.

El denominador común de todos los problemas que se abordan con evaluación multicriterio, es el reconocimiento explícito de la complejidad en los procesos de toma de decisiones individuales y más aún a nivel grupal. Desde el punto de vista filosófico representa un movimiento desde el paradigma del racionalismo hacia el de “pensamiento lateral o visión periférica”. Conviene resumir las características esenciales de estos dos enfoques.

La visión racionalista – positivista – cartesiana, ha dominado el sistema de pensamiento de la civilización occidental desde que la filosofía clásica griega sistematizó el uso del análisis, el juicio y la argumentación. El racionalismo en el mundo moderno asume que para cualquier problema de toma de decisiones existe una solución óptima precisa y que es posible encontrarla razonando respecto al problema y modelándolo adecuadamente. Un supuesto subyacente en esta visión es la tangibilidad de las variables y atributos que

inciden en la toma de decisiones. La teoría tradicional de evaluación de proyectos, se enmarca básicamente dentro de la tradición racionalista, en efecto, se ha supuesto siempre que los individuos maximizan su utilidad y la sociedad maximiza el bienestar social, que se puede conocer toda la información (o al menos la mayor parte) necesaria para la toma de decisiones y que la tangibilidad de esta información permite medir (todos los costos y beneficios) para llegar a un criterio único ([Vanegas](#)) que permite tomar la decisión en forma racional.

El “pensamiento lateral” ha sido más propio de la filosofía oriental y comenzó a impregnar la cultura occidental sobre todo en la década de los 80, motivado en parte por la creciente influencia y éxitos de Japón en la economía mundial durante esa época. Se podría intentar sintetizar este enfoque por contraste con el paradigma racionalista.

El enfoque da cuenta de la intangibilidad de muchas de las dimensiones relevantes para el proceso de toma de decisión, incorpora como dato que el proceso de toma de decisión no necesariamente es racional bajo las definiciones antes señaladas, en la medida de que, factores subjetivos que el tomador de decisiones no es capaz de reconocer ni explicitar, inciden fuertemente en la decisión final, y por último reconoce que la racionalidad varía de una persona a otra y de un grupo a otro.

Para efectos de la evaluación de inversiones, este cambio de paradigma implica al menos incluir en la toma de decisión los aspectos no cuantificables, identificar aspectos subjetivos involucrados en la toma de decisión e incluir las distintas visiones y objetivos de los agentes. A modo de ejemplo, significa considerar en la toma de decisión aspectos tales como correlación de fuerzas entre grupos, intereses no declarados de los agentes, participación de los beneficiarios y restricciones socio-culturales entre otras([Zamora 2010](#)).

1.6. La ayuda a la decisión multicriterio

El objetivo de los enfoques multicriterio es ayudar a tomar mejores decisiones, pero ¿qué se entiende por mejores? Este campo se ha desarrollado notablemente en los últimos treinta años. Ese desarrollo tan vertiginoso hace cuestionar las limitaciones a la objetividad encontradas en el campo de la Ayuda a la Decisión y, consecuentemente, de la imposibilidad virtual de ofrecer una fundamentación verdaderamente científica para llegar a una decisión óptima. La labor realizada bajo la denominación Toma de Decisiones Multicriterio (Multicriteria Decision Making - MCDM) fundamenta sus reclamos hacia la legitimidad de una estructura en la cual, las limitaciones de la

imposibilidad virtual de proporcionar una fundamentación científica verdadera para una solución óptima se hallan presentes ([Romana 2016](#)).

Por su parte la Ayuda a la Decisión Multicriterio (Multicriteria Decision Aid MCDA) debe ser analizada desde una perspectiva diferente ya que, su objetivo es capacitar para enriquecer el grado de conformidad y coherencia entre la evolución del proceso de toma de decisiones y los sistemas de valores y objetivos de aquellos involucrados en este proceso. El propósito de la MCDA es, por tanto, ayudar a marcar el camino en presencia de ambigüedad, incertidumbre y abundancia de bifurcaciones. Los modelos de decisión multicriterio están siendo objeto, cada vez en mayor medida, de estudio, análisis y aplicación. Para comprender adecuadamente sus contribuciones específicas en la investigación operativa es necesario distinguir entre dos actitudes fundamentales complementarias: Toma de Decisiones (Decision Making) y Ayuda a la Decisión (Decision Aid) ([Romana 2016](#)).

1.6.1. Un cambio de actitud y de comportamiento: desde la Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM) hacia la Ayuda a la Decisión Multicriterio (MCDA)

La práctica de la investigación operativa y de la MCDM ha puesto en evidencia algunas limitaciones fundamentales a la objetividad. Los principales aspectos a tener en cuenta son ([Romana 2016](#)):

1. La frontera del conjunto de alternativas es, a menudo, difusa.
2. En buen número de problemas reales, el decisor como una persona verdaderamente capaz de tomar una decisión, no existe.
3. Aun cuando el decisor no sea una persona mítica, sus preferencias rara vez aparecen bien definidas y establecidas.
4. Datos tales como valores numéricos de las actuaciones, las formas analíticas de las funciones de distribución y valores numéricos de las características de dichas distribuciones, en muchos casos, son imprecisos o están definidos en forma arbitraria.
5. En general, es imposible decir que una decisión es buena o mala haciendo referencia, solamente, a un modelo matemático.

Asimismo, pueden compararse cuáles son las preocupaciones fundamentales en cada campo de estudio:

En la MCDM:

El principal objetivo es describir o descubrir algo que pueda ser considerado como una entidad fija y siempre presente.

Los esfuerzos de los investigadores están orientados hacia conceptos, axiomas y teoremas que son, consecuentemente fiables para ser utilizados con los propósitos siguientes:

- Definir condiciones bajo las cuales la existencia de la entidad que debe ser descubierta está garantizada (en esta perspectiva se considera la legitimidad de los procesos);
- Ayudar al decisor a dictar o determinar la solución correcta: si la racionalidad correspondiente a los axiomas es aceptada por el decisor entonces, él debe estar de acuerdo con la solución obtenida.

En la MCDA:

El objetivo principal es construir o crear algo que, por definición, no pre existe. La entidad a ser construida o creada es considerada como fiable para ayudar a un actor a tomar parte en el proceso de decisión.

Los esfuerzos de los investigadores están orientados hacia conceptos, propiedades y procedimientos que son, consecuentemente fiables para su utilización con los propósitos siguientes:

- Extraer a partir de la información disponible aquello que parece ser realmente significativo (en la perspectiva de lo que se necesita construir);
- Ayudar a iluminar el comportamiento del decisor ofreciéndole argumentos capaces de reforzar o debilitar sus propias convicciones.

1.6.2. Estructura General del Enfoque de Ayuda a la Decisión Multicriterio (MCDA)

Con el propósito de enfatizar las características más destacables de este enfoque se hará referencia a los tres pilares fundamentales en que se sustenta:

1. El conjunto de alternativas potenciales no es necesariamente un conjunto estable. La forma de concebir al conjunto de alternativas no es tan estricta como en el enfoque MCDM. El término alternativa potencial se utiliza, en la misma forma que el término alternativa, para designar algo a través de lo que una decisión debe materializarse.
2. Los criterios introducidos para reflejar, posiblemente con cierto grado de imprecisión, las preferencias de uno o varios decisores. Cada criterio debe tener

en cuenta uno o más atributos precisos (o consecuencias) permitiendo que se forme una idea clara desde un punto de vista bien identificado. Para tener en cuenta la incertidumbre, la imprecisión y la determinación inexacta, pueden utilizarse distribuciones de probabilidad. Adicionalmente, o bien en su lugar, podrían considerarse números difusos y/o diferentes tipos de umbrales. Una manera sencilla de introducir umbrales, la ofrece el concepto de pseudo- criterio.

3. Un problema matemático mal definido (definido incorrectamente). Contrariamente al planteamiento MCDM, el MCDA no conduce a un problema de optimización perfectamente definido. Adicionalmente, la ayuda puede ofrecerse con referencia a tres perspectivas diferentes, correspondientes a los tres problemas siguientes:

- La elección de una mejor alternativa, óptima o satisfactoria;
- La asignación de cada alternativa a una categoría pre definida de acuerdo a lo que se desee que ocurra posteriormente (por ejemplo, aceptación, rechazo o indecisión a la espera de información adicional);
- El ordenamiento entre aquellas alternativas que parecen ser las más satisfactorias de acuerdo con un preorden parcial o un preorden completo.

1.6.3. ¿Qué expectativas existen en torno a la Ayuda a la Decisión Multicriterio?

Quien mejor ha definido la Ayuda a la Decisión es, sin duda alguna, ([Gonzalez 2012](#)), quien considera que la Ayuda a la Decisión es la actividad de una persona física quien, mediante el uso de modelos explícitos aunque no completamente normalizados, ayuda a responder las cuestiones propuestas por el asesor o analista (elemento clave en todo proceso de decisión). Los elementos puestos en juego pretenden clarificar la decisión y, usualmente, están orientados a obtener una adecuada recomendación, o bien, intentan simplemente, favorecer un comportamiento que podría incrementar la consistencia entre la evolución del proceso, los objetivos y el sistema de valores del analista. En este contexto, la palabra “recomendación” es utilizada para llamar la atención sobre el hecho de que tanto el analista como el decisor son conscientes de que el decisor es completamente libre de comportarse como desee después de haber sido asesorado o recomendado. La palabra “recomendación” se utiliza en el ámbito de la Ayuda a la Decisión para reemplazar el término “receta” o “regla”. Estos últimos son, en la mayoría de los casos, inapropiados para designar aquello que un grupo de analistas que asesora al decisor, podría alcanzar. Definida de esta forma, la Ayuda a la Decisión,

apoyada sobre bases científicas reconocidas en lo que a hipótesis se refiere, se orienta hacia las formulaciones de proposiciones (elementos de respuesta a las cuestiones, una presentación de soluciones satisfactorias o posibles soluciones de compromiso, etc.) que luego son sometidas al decisor y/o varios actores involucrados en el proceso, para su juicio y evaluación. De acuerdo con esta línea de actuación, la Ayuda a la Decisión podría contribuir, razonablemente a:

- Analizar el contexto de decisión identificando los actores, las diversas posibilidades de acción, sus consecuencias, las partes interesadas, ...;
- Organizar y/o estructurar cómo el proceso de decisión se desarrolla a efectos de incrementar la coherencia entre, por un lado, los valores que subyacen en los objetivos y metas y, por otro, la decisión final a la que se llega;
- Obtener la cooperación de los actores, proponiendo claves para un entendimiento mutuo mejor y una estructura o ambiente propicios para el debate;
- Elaborar recomendaciones utilizando los resultados ofrecidos por los modelos y los procesos computacionales considerados en el marco de las hipótesis de trabajo;
- Participar en la legitimación de la decisión final.

Dice ([Gonzalez 2012](#)) que hay que hablar de Ayuda Multicriterio a la Decisión y no, como hacen algunos, de Ayuda a la Decisión Multicriterio. Pues una cosa es que se plantee tomar una decisión apoyada en diferentes criterios y otra bien distinta que diferentes criterios sean tenidos en cuenta a lo largo del proceso de decisión. Se está ante un análisis multicriterio de la realidad. La elección de la óptica multicriterio frente a la monocriterio va a marcar de forma definitiva la filosofía del proceso de decisión. La investigación operativa clásica se basa en la búsqueda de un óptimo, lo cual supone, básicamente, adoptar el monocriterio. Desde el momento en que se tienen en cuenta vanos criterios estos pueden ser conflictivos de forma que la mejora en uno de ellos implique un empeoramiento en otro, en consecuencia el óptimo no tiene porqué existir. El considerar un único criterio para fundamentar una decisión tiene la ventaja de contribuir a un planteamiento matemáticamente correcto del problema, es decir de forma tal que la solución del problema queda totalmente determinada por su formulación y no por el modo de resolución del mismo. Sin embargo, el problema así planteado no tiene por qué ser una buena representación de la

realidad a la que pretende hacer referencia. En materia de Ayuda Multicriterio a la Decisión los resultados obtenidos van a depender no solamente de cual haya sido la formulación del problema sino también del procedimiento utilizado para encontrarlos.

Es imposible disociar los enfoques de formulación y de resolución cuando se quiere reconocer la existencia de ambigüedades y de lógicas contradictorias. La Ayuda Multicriterio a la Decisión pretende, como su nombre indica, elaborar herramientas que permitan al decisor la resolución de un problema en el que hay que tener en cuenta varios puntos de vista a menudo contradictorios. No ha de existir, en general, una solución que sea la mejor desde todos los puntos de vista. Como se decía al comienzo, la optimización no tiene por qué tener sentido y es por ello que la palabra Ayuda” tiene una importancia capital.

El concepto de decisión no es separable del de proceso de decisión. Así, decidir o, de forma más general, intervenir en un proceso de decisión no es más que en casos excepcionales encontrar la solución a un problema. Normalmente es buscar compromisos en una situación de conflicto.

La definición que ([Gonzalez 2012](#)) da de Ayuda a la Decisión es la siguiente: la Ayuda a la Decisión es la actividad de aquel que, apoyándose sobre modelos claramente explicitados pero no completamente formalizados, ayuda a obtener elementos de respuesta a las preguntas que se plantea un interviniente en un proceso de decisión, elementos que conducen a esclarecer la decisión y normalmente a recomendar, o simplemente a favorecer, un comportamiento que proporcione una coherencia entre la evolución del proceso de una parte, los objetivos y el sistema de valores al servicio de los cuales este interviniente se encuentra situado de otra parte. Es decir, la aportación de la Ayuda a la decisión no se limita a la recomendación final, sino que acoge también el espíritu en el que dicha recomendación ha sido concebida.

El proceso de ayuda a la decisión puede ser concebido según los cuatro niveles siguientes:

Nivel 1: objeto de la decisión y espíritu de la recomendación.

- ¿Bajo qué forma conviene modelizar la decisión?
- ¿Dónde situar la frontera entre lo que es posible y lo que no lo es?
- ¿Bajo qué perspectiva elaborar los modelos?
- ¿Qué forma debe tomar una eventual recomendación?

Nivel II: análisis de las consecuencias y Elaboración de los criterios.

- ¿En qué, bajo la forma en la que ha sido modelizada, condiciona la decisión la evolución del proceso?
- ¿Cuáles son las consecuencias de la posible decisión susceptible de interferir con los objetivos y sistemas de valores de un interviniente sea cual sea?
- Entre las consecuencias así explicitadas, ¿Cuáles deben ser formalizadas y cómo?
- ¿Hasta qué punto cada una es discriminante para esclarecer la decisión teniendo en cuenta, principalmente, factores de imprecisión, de incertidumbre, de indeterminación?
- ¿Cómo construir criterios capaces de tomar en cuenta estas consecuencias y estos factores?

Nivel III: modelización de las preferencias globales y enfoques operacionales para la agregación de las valoraciones.

- Entre la variedad que se ofrece para definir criterios, ¿cómo seleccionar los que permiten aprehender “mejor”, en vista de la ayuda a la decisión, la totalidad de las consecuencias?
- ¿Qué conviene exigir a dicha familia de criterios para que juegue su papel en el trabajo de estudio propiamente dicho, todo ello constituyendo una base de diálogo aceptable para los diversos intervinientes?
- ¿Cómo conviene, en el caso de un análisis multicriterio, agregar las valoraciones de una acción sobre los diversos criterios para declararla buena o mala, mejor o peor que otra?
- ¿Qué informaciones que tengan relación, por ejemplo, con la importancia relativa de los criterios es oportuno hacer intervenir y cómo?

Nivel IV: procedimientos de investigación y Elaboración de la recomendación

- ¿Cómo sacar partido del trabajo que se ha hecho en los niveles precedentes para construir respuestas, incluso elaborar una recomendación?

Enfoques básicos en la elaboración de un modelo de ayuda a la decisión:

- Un enfoque descriptivo en el cual el modelo de ayuda a la decisión está elaborado haciendo la hipótesis de que existe, en el ánimo de los intervinientes para los cuales se ejerce la ayuda, un sistema de preferencias que trata de aprehender la realidad de la manera más fiel posible. Es esta descripción de un sistema de preferencias, a menudo realizada por medio de una representación numérica, la que conduce al establecimiento de una recomendación. Este sistema de preferencias puede no

existir más que en estado latente, Se supone sin embargo en este enfoque que, por aplicación de un cierto número de principios de racionalidad conducidos por el modelo, la descripción del sistema de valores de los intervinientes permite inferir sin ambigüedad la manera en que dos acciones cualesquiera se comparan en términos de preferencia.

- Un enfoque constructivo en el cual se considera que las preferencias de los intervinientes son a menudo conflictivas, poco estructuradas, llamadas a evolucionar en el seno del proceso de decisión e influenciadas del hecho mismo de la puesta en marcha del modelo. El modelo de ayuda a la decisión es entonces elaborado buscando sacar partido de lo que parece ser la parte estable de la percepción del problema que tienen esos actores. Sobre esta base, el modelo se enfoca a la construcción de conceptos, de modos de representación y razonamiento que les permitan enriquecer su percepción. Puede surgir como una hipótesis de trabajo, un medio de razonamiento, de argumentación y no como una simple imitación pasiva de una realidad vista como un dato exterior. La recomendación está concebida en ese espíritu. Este enfoque no pretende elaborar siempre un sistema de preferencias en el seno del cual se puedan comparar dos acciones sin ambigüedad. Los modelos que de él se derivan toleran las dudas y las incomparabilidades.

1.7. Métodos Multicriterio Cualitativos

En la evaluación de proyectos, en diversos programas de investigación social, política económica, entre otros, no se agota toda la información disponible sobre problemas o necesidades que estos pretenden solucionar; la recopilación de información económica es una condición necesaria en diversos proyectos pero no suficiente cuando se integra la descripción de variables sociales ([Hernández 2015](#))

Una de las características principales de las metodologías multicriterio es la diversidad de factores que se logran integrar en el proceso de evaluación ([Rodríguez 2014](#)). Existe una gran cantidad de factores que no pueden ser valorados para ser incluidos en un análisis Costo-Beneficio o que son excluidos en los análisis Costo-Eficiencia ([Pacheco and Contreras 2008](#)). Entendiendo que una variable es una característica de la realidad que puede ser determinada por observación y puede tomar diferentes valores de una unidad de observación a otra, en general se establece que dependiendo de la naturaleza

de la investigación y del tipo de información que trate, las variables pueden agruparse en dos tipos, cuantitativas y cualitativas ([Bello 2006](#)).

Así, las decisiones deben tomarse considerando no solo aspectos económicos, ya que no todos los factores que se modifican con una intervención son cuantitativamente expresables de modo tradicional o monetario. Es difícil cuantificar el impacto ambiental y las consecuencias al realizar un proyecto, los cuales poseen gran importancia en programas de provisión de bienes públicos. Consecuentemente, el diseño y la realización de estas, son de capital importancia, debiendo contar a lo largo de todo el proceso con factores como la percepción, intuición, experiencia y otros, que son cualidades no valorables de un problema y que no pueden excluirse al abordarlo. Por otra parte, un programa o proyecto con frecuencia afecta no solo a las variables que se pretenden intervenir, sino que trae consecuencias adicionales, muchas de ellos no deseadas o inesperadas, consecuencia de la complejidad de las interacciones sociales y sus diversas facetas ([Pacheco and Contreras 2008](#)). Un ejemplo hipotético: un municipio desea reducir la delincuencia en una zona; para esto evalúa dos alternativas, construir una cancha de fútbol o una plaza con áreas verdes. Decide por una de ellas en función de una evaluación económica –la menos costosa–. La decisión adoptada por el municipio sería la “correcta” si el camino obligatorio fuera el bajo costo económico ([Pacheco and Contreras 2008](#)). Sin embargo, la toma de decisión no recoge toda la información disponible para la toma de decisiones. Hay un grupo de criterios cualitativos que se pueden agregar al análisis antes expuesto, supongamos que existe: aficionados que están polarizados por un equipo de fútbol en la zona del proyecto, o que hay grupos etarios que se definen claramente dentro de las personas involucradas en situaciones de actividades ilícitas, nivel de drogadicción en la zona, etc. Estos criterios hacen la diferencia al momento de evaluar la alternativa del proyecto, así si la preferencia por equipos de fútbol es baja, no sería conveniente construir la cancha de fútbol, pues en un ambiente de alta delincuencia podría conducir a mayores niveles de violencia. Por el contrario, si el nivel de drogadicción juvenil es alto, es preferible construir la cancha en vez de la plaza ([Pacheco and Contreras 2008](#)). La obviedad del ejemplo indica que sería necesario incluir los aspectos antes descritos para mejorar la toma de decisiones, pero el gran número de factores y naturaleza de algunos de ellos hace difícil su inclusión en las formas tradicionales de evaluación de proyectos, sin embargo las técnicas de “Evaluación Multicriterio” permitirían trabajar con varios

criterios a la vez e identificar la importancia relativa de cada uno para evaluar entre distintas alternativas de proyecto, independiente de la naturaleza de los factores que están implícitos en una situación específica ([Pacheco and Contreras 2008](#)).

En el mundo actual podrá asumirse racionalmente que para cualquier problema de toma de decisiones existe una solución óptima precisa y que es posible encontrarla razonando respecto al problema y modelándolo adecuadamente ([Pacheco and Contreras 2008](#)). La “Evaluación de Proyectos” –con enfoque de eficiencia– supone la capacidad de identificar, medir y valorar, todos los costos y beneficios involucrados, cuestión que en la práctica no siempre es posible. Así, los beneficios y costos que se deben identificar, medir y valorar, son aquellos que resulten relevantes desde el punto de vista del inversionista que desea llevar a cabo el proyecto.

Especialmente se distinguen dos puntos de vista, uno es el del negociante privado y/o oficial, y otro es el de todos los agentes económicos que conforman la comunidad nacional ([Redondo 2007](#)) Con frecuencia este último análisis se aplica a políticas y programas que presentan externalidades (aspectos que están por fuera de las valoraciones de mercado) como, por ejemplo, el mejoramiento en la calidad ambiental([Pérez 2013](#)). En este escenario, es posible buscar consensos en torno a la evaluación de proyectos, incorporar las variables no cuantificables o factores subjetivos que pesan en las decisiones de los agentes económicos, e incorporar procesos de toma de decisiones que son crecientemente grupales ([Pérez 2013](#)).

Los investigadores que hacen uso de los métodos cualitativos, influidos por los criterios de validez de los métodos cuantitativos, desarrollan procedimientos que intentan permanentemente justificar el tamaño de su muestra, su diseño y los métodos de análisis ([Diaz 2018](#))autores como ([Enrique Ballester 1996](#), [Gonzalez 2012](#)), coinciden en que las entrevistas cualitativas son absolutamente esenciales desde el punto de vista del realismo crítico, ya que esta postura reconoce que las estructuras que se encuentran en los estudios que analizan grupos humanos son subordinadas, complejas y pueden diferir de los hechos observados y de los discursos de los cuales emergen. Si bien los investigadores que utilizan métodos cuantitativos, han exagerado esta división y han impuesto la primacía de sus contribuciones sobre las de sus contrapartes cualitativas, no se puede negar que los analistas cualitativos también han censurado la cuantificación como inherentemente insensible y no imaginativa. Se puntualiza, además, que en numerosos estudios la metodología cualitativa cae en algunas de las limitaciones ya

observadas en los métodos cuantitativos, al suponer la existencia de formas únicas de abordar la realidad y proponer para todo tipo de investigación un conjunto de pasos prefijados del tipo cualitativo ([Enrique Ballestero 1996](#)).

([Enrique Ballestero 1996](#)) No comparte la dualidad existente entre los métodos cuantitativos y cualitativos, por el contrario, respalda una complementariedad, puesto que la contrastación y verificación para probar la validez de la investigación debe ser propuesta por el investigador, en cada caso específico, sin estar reservada a lo cuantitativo o lo cualitativo. Combinar métodos en un mismo proyecto de investigación puede ser ventajoso por diversas razones ([Herce 2017](#)), el uso de más de una técnica en la recolección de pruebas ayuda a minimizar los riesgos de obtener postulados erróneos. Además, se puede llevar adelante la recolección del material y luego generar datos cuantitativos como cualitativos. Los hallazgos cuantitativos permiten obtener conclusiones generales a partir de premisas particulares y los cualitativos ofrecen la posibilidad de recoger información a partir de los hechos y del ámbito en que se presentan éstos.

La práctica investigativa implica permanente toma de posiciones y decisiones por parte de los investigadores, así las técnicas, los métodos y la teoría, se constituyen en cada proceso de investigación y de acuerdo con las particularidades del objeto de estudio ([Herce 2017](#)). Por lo anterior, las técnicas se encuentran subordinadas a la teoría en un proceso de construcción y sujetas a los procesos de reformulación de la problemática de investigación, esto permite redefinir la selección de otras técnicas para construir otros datos y enriquecer la investigación([Hernández 2015](#)). ([Jerónimo Aznar Bellver 2012](#))reconsidera la distinción entre “cantidad y calidad”, y aboga por la interacción entre métodos cualitativos y cuantitativos, de tal manera que sea necesario propiciar un debate profundo de ideas, puesto que hay cuestiones éticas y conceptuales que todavía no se han resuelto y a las que es necesario responder, como el compromiso del investigador con la sociedad y sus posibles contribuciones para resolver los problemas que plantea en cada contexto.

Los métodos cualitativos asocian su surgimiento al fracaso de los enfoques científicistas, vinculados al neopositivismo, para analizar el significado del mundo social, y por otra parte, al uso excesivo de los datos económicos y la clasificación cuantitativa que ha ignorado las múltiples aristas de la experiencia humana, y defendido la subjetividad de los sujetos y sus interacciones como objeto de estudio. Con todo ello,

los datos no cuantificables, basados particularmente en experiencias y actitudes, pueden dar una visión “holística” y derivar conocimientos y explicaciones causales ([Jerónimo Aznar Bellver 2012](#)). Es así como trabajos cualitativos de evaluación multicriterio, en los cuales se involucran por ejemplo problemas ambientales, sociales y de uso de recursos en general, y donde se combinan dimensiones económicas, sociales y ecológicas, son trabajos que intentan en su integralidad minimizar las consecuencias de enfoques menos amplios en la investigación de los grupos humanos y sus interacciones. Siguiendo a ([Jerónimo Aznar Bellver 2012](#)), es necesario utilizar modelos que ofrezcan una representación comprensible y operacional del mundo real. Para ello es recomendable el uso de modelos de evaluación multicriterio cuyo impacto permite la interacción entre juicios cuantitativos y cualitativos, que permiten describir una colección de conceptos, métodos y técnicas que ayudan a los individuos o grupos a tomar decisiones cuando se involucran diferentes puntos de vista en conflicto y múltiples agentes interesados. Es condición para un problema de decisión multicriterio la presencia de más de un criterio, y que éstos se encuentren en conflicto. Es decir, un problema puede considerarse como problema multicriterio si y sólo si existen al menos dos criterios en conflicto y existen al menos dos alternativas de solución, para definir los atributos que se utilizan para describir alternativas que pueden ser cuantitativas (objetivas) o cualitativas (subjetivas) y una meta u objetivo ([Vitoriano 2007](#)).

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre los métodos cualitativos y los métodos cuantitativos. **Tabla 3**

Tabla 3: métodos cualitativos y cuantitativos

Métodos cualitativos	Métodos cuantitativos
<p>Datos cualitativos</p> <p>Escenarios naturales</p> <p>Búsqueda de conocimiento</p> <p>Rechazo a la ciencia natural</p> <p>Aproximaciones inductivas</p> <p>Identificación de patrones culturales</p> <p>Perspectiva idealista</p>	<p>Datos cuantitativos</p> <p>Escenarios Experimentales</p> <p>Identificación de comportamiento</p> <p>Adopción de la ciencia natural</p> <p>Aproximaciones deductivas</p> <p>Consecución de leyes científicas</p> <p>Perspectiva idealista</p>
Entrevistas cualitativas	Mediciones cuantitativas

Muestra de tamaño pequeño Entrevistas extensas Muestreos no-aleatorios	Muestra de tamaño amplio Mediciones pequeñas Muestreo aleatorio
---	---

Fuente: ([Redondo 2007](#))

1.8. Métodos Multicriterio continuos

Los métodos de decisión multicriterio continuos se caracterizan por que el decisor considera un número infinito de alternativas. Se podría decir que la mayoría de modelos de este tipo se han desarrollado para apoyar la toma de decisiones en ambientes de certeza, es decir en situaciones donde el decisor posee información completa de cerca de los estados de la naturaleza que se van a presentar en momentos posteriores.

Según ([Meza 2007](#)) , en este ambiente, el problema de decisión queda reducido a un problema de optimización matemática caracterizado por la existencia de un único decisor, un conjunto de alternativas ($A \subset R^n$), siendo cada alternativa $X \in A$ de tal forma que $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, un conjunto factible compuesto por las alternativas posibles y válidas para el decisor ($K \subset A \subset R^n$), atributos o parámetros de comportamiento de las variables y funciones objetivo o criterios de evaluación utilizados para medir las consecuencias de las alternativas $F = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x))$. Siguiendo este contexto, se puede destacar la existencia de dos agentes que determinan el proceso decisorio. Por una parte, el decisor es el individuo o grupos de individuos que toman la decisión final y por otra, el analista es el individuo o conjunto de individuos que analiza el problema y ayuda al decisor a elegir escoger una elección.

Además, ([Romana 2016](#)) explica que en muchas ocasiones es imposible optimizar simultáneamente todos los objetivos al mismo tiempo ya que suelen existir conflictos entre los mismos o se carece de recursos necesarios para su consecución. Si no existe ningún punto dentro del conjunto factible que optimice a la vez todos los objetivos hay que recurrir a otros tipos de soluciones, de tal forma que se pueda obtener una solución no óptima, pero si útil. Estas soluciones se clasifican en eficientes, soluciones compromiso y satisfactorias.

1.9. Métodos Multicriterio 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.

1.9.1 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:

$$v = \lambda_1 * v_1 + \lambda_2 * v_2 + \dots + \lambda_n * v_n \quad (1)$$

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:

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

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.

1.9.2 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 method of Enrichement Evaluations), 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 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 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 las 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 las 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 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](#))

1.9.3 Otros métodos de decisión multicriterio discretos

Finalmente, como otros métodos interesantes podemos considerar el método ZAPROS (abreviación de las palabras rusas: Closed Procedures near Reference Situations), 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 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_p** como una función de agregación en un método de programación por compromiso. Las diferentes

alternativas se denotan como a_1, a_2, \dots, a_j . Para la alternativa a_j , la valoración del i -ésimo aspecto se denota mediante f_{ij} , es decir, f_{ij} es el valor de la i -ésima función criterio para la alternativa a_j ; siendo n el número de criterios. ([Hernández 2015](#)). Siendo la definición de la **métrica- L_p** : del método VIKOR:

$$L_{p,j} = \left\{ \sum_{i=1}^n [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)^p] \right\}^{1/p} \quad (3)$$

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

Donde $f_i^* = \max f_{ij}$ y $f_i^- = \min f_{ij}$ 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.

1.10. Aplicaciones de los métodos multicriterio

Los métodos de toma de decisión multicriterio han comenzado a trascender del ámbito académico y se han extendido al ámbito público y empresarial, estas son poderosas y eficaces herramientas que ayudan a generar consenso en contextos complejos de decisión. Algunas de sus aplicaciones son

- Localización de empresas
- Selección de maquinaria o contratistas
- Predicciones financieras definición de estrategias empresariales
- Captación de personal;
- Selección de destinos y rutas turísticas;
- Clasificación de dispositivos móviles;
- Valorar la sustentabilidad de las diferentes alternativas productivas;
- Selección de ofertas competitivas de edificación;
- Formulación de proyectos en infraestructura Deportivas;

1.10.1. Aplicaciones de métodos multicriterio a las diferentes etapas de un proyecto

Si pensamos en el ciclo de vida de un proyecto (idea, perfil, factibilidad, ejecución), podemos identificar aplicaciones interesantes, de estos métodos, al menos en las siguientes etapas del ciclo:

A. Identificación de ideas

Dada cierta misión, o ciertos objetivos, con métodos multicriterio podemos analizar de manera estructurada las formas de alcanzarlos, identificando acciones, algunas de las cuales eventualmente se traducirán en proyectos de inversión. Posteriormente estos métodos también nos permitirán hacer rankings de ideas y descartar las malas antes de cualquier estudio.

B. Análisis de alternativas (en cualquier etapa de preinversión: perfil, factibilidad)

Esta es una sub etapa tradicional en evaluación de proyectos (luego del estudio de mercado, el diagnóstico y la optimización de la situación actual). Sobre todo en estudios de nivel de prefactibilidad y factibilidad, estudios cuyo costo es significativo en aquellos proyectos en que sea necesario evaluar muchas alternativas, podemos abordar dicha evaluación con métodos multicriterio. En el caso particular de un estudio de factibilidad, se sabe que a este nivel generalmente se trabaja con una sola alternativa dado los costos de evaluar, se intenta en general seleccionar sólo una a nivel de prefactibilidad, si esa selección no fue posible vía VAN, es posible elegir la alternativa a evaluar a nivel de factibilidad con herramientas como la Evaluación Multicriterio Esta aplicación se debería hacer con la participación tanto de las unidades encargadas de la administración de los proyectos, como de las unidades encargadas de la asesoría

e involucrados, disminuyendo así posibles conflictos en la selección de alternativas.

C. Priorización de carteras (post evaluación de proyectos con VAN)

Enfrentados a una cartera de proyectos rentables, con restricción de presupuesto, el análisis tradicional de optimización del VAN conjunto, puede ser complementado con una jerarquización multicriterio, que tome en cuenta variables como la contribución a la estrategia general de la empresa, la complementariedad con otras inversiones en marcha, o en el caso de la evaluación para la inversión pública, los aspectos ambientales y redistributivos. En este caso los agentes que deberían participar en la aplicación, deberían ser los responsables de la función de administración, los de la función de gobierno e involucrados.

D. Para evaluar propuestas en procesos de licitaciones.

En los procesos de licitación en Latinoamérica que suelen utilizar métodos que típicamente se ponderan la experiencia de la empresa proponente, del equipo, el plan de trabajo propuesto, los costos, etc. Sólo que la determinación de las ponderaciones en la mayor parte se hace en forma arbitraria, o sea, no se utilizan métodos para definir con alguna rigurosidad los ponderadores.

E. Para programas de inversión en el sector público.

Dentro del sector público ha alcanzado gran difusión la metodología de marco lógico. Esta herramienta para la formulación y seguimiento de programas, guarda relación con los enfoques multicriterio. En efecto, un método como la Evaluación Multicriterio, permite agregar resultados.

F. Para la construcción de indicadores de desempeño del personal a cargo de los proyectos.

Esta es una aplicación relevante para las etapas de ejecución y operación del proyecto, posterior a la evaluación ex ante. Se puede generalizar dicha aplicación a la construcción de indicadores de control de gestión durante la implementación del proyecto. En todos los casos anteriores se necesita agregar varios criterios para llegar a un solo índice que permita tomar la decisión. En base a la experiencia presentada en este documento, parece conveniente seguir explorando la aplicación de la Evaluación Multicriterio en otros ámbitos de decisión,

investigar la aplicabilidad a programas, al diseño de productos, a los procesos de licitación y a la formulación de proyectos.

1.11. Preferencias o prioridades como resultado de la aplicación de los métodos multicriterio

En la literatura existe una marcada controversia en lo referente a los resultados que arroja la aplicación de los métodos multicriterio. En primer lugar, se hace necesario entender la diferencia entre estos dos conceptos.

Preferencia: asume una elección real o imaginaria entre ciertas alternativas y la posibilidad de ordenarlas. Generalmente puede verse como una fuente de motivación. En ciencias cognitivas, las preferencias individuales determinan la elección de los objetivos.

Prioridad: anterioridad en orden o en el tiempo de una cosa respecto de otra. Precedencia o superioridad de una cosa respecto de otra.

Existe un amplio predominio de autores que defienden que los métodos multicriterio organizan las alternativas en cuanto a prioridades, entre ellos destacan ([Pacheco and Contreras 2008](#)) quienes señalan que Una de las posibilidades que las metodologías multicriterio aportan, es la diversidad de factores que se logran integrar en el proceso de evaluación. Su particularidad está en la forma de transformar las mediciones y percepciones en una escala única para comparar los elementos y establecer órdenes de prioridad que permitan agregar los efectos de un proyecto en una métrica común ([Machado 2018](#)) expone que el proceso de toma de decisiones utilizando métodos multicriterio está integrado por la jerarquización y priorización, siendo la jerarquización la relación de orden entre las alternativas que requiere de un modelo de decisión, mientras que la priorización es la razón de proporcionalidad en términos de cuánto mejor es una alternativa que otra, y, finalmente, el resultado es la decisión sobre selección de una alternativa, jerarquización o priorización de proyectos.

Principio de establecimiento de prioridades([Muñoz 2016](#))

El cálculo de la prioridad se realiza en función de comparaciones a pares con respecto a un criterio dado. Para comparar los elementos se forma una matriz y se pregunta: ¿Cuánto supera este elemento (o actividad) al elemento con el cual se está comparando- en la medida en que posee la propiedad, contribuye a ella, la domina, influye sobre ella, la satisface, o la beneficia?

El segundo principio que destaca de este método multicriterio es el establecimiento de prioridades entre los elementos de la jerarquía. Se propone una escala de prioridades como forma de independizarse de las diferentes escalas que existen entre sus componentes. Los seres humanos perciben relaciones entre los elementos que describen una situación, pueden realizar comparaciones

A pesar de esta preponderancia del término “prioridad”, varios autores se decantan por el término “preferencia”, en especial cuando se refieren a los resultados que arrojan los métodos como el TOPSIS y PROMETHEE ([Muñoz 2016](#))

([Pérez-Vázquez 2014](#)) Señala que se hace necesario separar un problema de decisión en los “elementos” que lo componen para la posterior comparación entre ellos, de esta manera la toma de decisión implica realizar mediciones que permitan aplicar los criterios de comparación para establecer preferencias entre ellos

Dentro de los métodos de sobre-clasificación se tiene el método de organización y jerarquización por preferencias PROMETHEE, el cual fue propuesto por J. Brans y PH. Vincke en 1985, el análisis multicriterio es un enfoque que permite determinar las preferencias del decisor entre un conjunto de opciones o alternativas. ([Martínez 2012](#))

Fuera de las escuelas americana o europea han surgido otros métodos en los que destaca la técnica para orden de preferencias por similitud con soluciones ideales TOPSIS ([Martínez 2012](#))Dicho método consta de los siguientes pasos ([León 2008](#)):

- Calcular la matriz de decisión normalizada;
- Calcular la matriz de decisión normalizada ponderada;
- Calcular las soluciones ideal e ideal-negativa;
- Calcular las medidas de separación;
- Calcular la cercanía relativa a la solución ideal;
- Jerarquizar por orden de preferencia;

Así pues, se puede concluir que, si bien la mayor parte de los autores que se han referido a los métodos multicriterio, hacen uso del término “prioridad”, no es descartable utilizar “preferencia”, sobre todo en lo que se refiere a los métodos PROMETHEE y TOPSIS.

1.12. 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 2. Procedimiento general para la aplicación de métodos multicriterio

2.1. Introducción

El desarrollo científico en algunas temáticas ha permitido la aparición de diferentes algoritmos para la solución de determinados problemas, existiendo entonces varias formas de llegar a la solución por lo que para ordenar esta situación es que se ha creado un procedimiento general que permite organizar el conocimiento y las habilidades.

2.2. Procedimiento para la aplicación de métodos multicriterio

A continuación se describe en la **figura 4**, los pasos que han de ser llevados a cabo en cualquier problema de toma de decisiones, los cuales pueden ser agrupados en dos pasos, “Análisis de decisión” y “Toma de decisión”

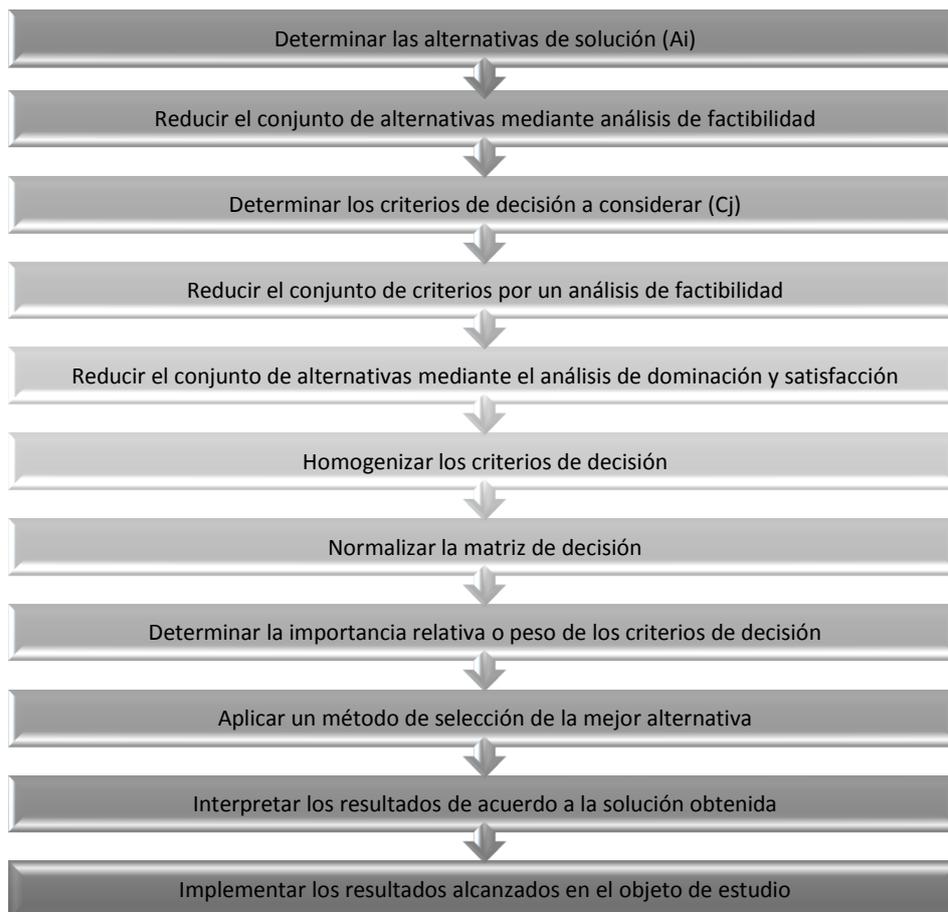


Figura 4: pasos para la aplicación de métodos multicriterio Fuente: elaboración propia

Una vez que el tomador de decisiones tiene la matriz de decisión conformada a partir de las alternativas que van a ser evaluadas y los criterios a través de los cuales van a ser medidos, la mayoría inicia la aplicación de los pasos de la metodología establecida, pero se ha demostrado que la complejidad del problema está determinada, entre varios factores, por el tamaño de la matriz de decisión, por lo que tratar de eliminar de antemano alternativas que van a ser dominadas es ventajoso. Tomando en consideración este argumento, es que se decide incorporar este estudio destinándolo como un pre análisis con el objetivo de reducir el número de alternativas del problema existiendo métodos idóneos para llevar a cabo esta etapa. (Métodos de dominación y de satisfacción, entre otros).

2.3. Elementos básicos

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.

Homogenización

Se realiza para llevar todos los criterios de decisión a un mismo criterio de optimalidad (Máx. o Min)

Fórmula para homogenizar

Para llevar de máximo a mínimo

H= Valor homogenizado

N mín=Valor numérico en mínimo

$$H = \frac{1}{N \min} \quad (2.1)$$

Para llevar de mínimo a máximo

H= Valor homogenizado

N máx=Valor numérico en mínimo

$$H = \frac{1}{N \max} \quad (2.2)$$

Normalización

Las puntuaciones en los atributos son normalizadas a efectos de eliminar problemas de

cálculo originados en la utilización de diferentes escalas y/o unidades utilizadas en la matriz de decisión. El propósito de la normalización es el de obtener escalas comparables, lo que permitirá realizar comparaciones intra-atributos así como las inter atributos. En consecuencia, los puntajes normalizados no tienen unidades de dimensión y, para el caso de atributos de beneficios, cuanto mayor sea el puntaje normalizado, mayor es la preferencia del mismo.

Fórmula para normalizar

Fracción del rango: $V_i = (a_i) / (\max a_i - \min a_i)$. (2.3)

Fracción del total: $V_i = a_i / \sum a_i$. (2.4)

Fracción del máximo: $V_i = a_i / \max a_i$ (2.5)

Fracción I-énésima componente: $V_i = a_i / (\sum a_i^2)^{1/2}$ (2.6)

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. Métodos de determinación de pesos de los criterios

Los criterios relevantes en un problema decisonal 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.

2.4.1. Métodos objetivos

Este tipo de método es distintivo, pues su basamento es puramente matemático. Alberga métodos como el de la entropía, el de correlación o Diakoulaki, entre otros, que facilitan la búsqueda de la selección de la mejor alternativa mediante su peso.

2.4.1.1. Método de Entropía

Este método fue 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.

Procedimiento

1. Se parte primeramente de las evaluaciones $R_{i,j}$ ya normalizadas a $N_{i,j}$.

2. Se calcula la entropía (E_j) o grado de similitud de cada criterio mediante la fórmula 2.7

$$E_j = -k * \sum N_{ij} * \log N_{ij} \quad (2.7)$$

Donde k es una constante que se ajusta para que siempre sea $0 \leq E_j \leq 1$, para todo j , con:

$$k = \frac{1}{\log m} \quad (2.8)$$

3. Hallar el peso para cada criterio de decisión

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^n D_j} \quad (2.9)$$

Donde: $D_j = 1 - E_j$

D_j = diversidad

2.4.1.2. Método Diakoulaki o de Correlación

Este método fue presentado por sus autores en el año 1992. El método pondera cada variable según la expresión, partiendo de los datos que para dicha variable explicativa, adquieren las distintas alternativas. 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, con lo cual se le da un carácter objetivo a dichas solución. Para ello, el método Diakoulaki pondera cada variable j según la expresión

$$W_l = S_j * \sum (1 - r_{jk}) \quad (2.10)$$

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

Por consiguiente el peso de un criterio es tanto mayor cuanto mayor sea su varianza (mayor desviación típica) y cuanto mayor información diferente a la de los otros criterios aporte (menor coeficiente de correlación entre columnas). Con el fin de que las

magnitudes sean comparables se procede previamente a la normalización por la suma de las mismas transformándolas por lo tanto a valores entre 0 y 1.

La desviación estándar de cada criterio se obtiene aplicando la fórmula siguiente.

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n}} \quad (2.11)$$

Así mismo utilizando la fórmula del coeficiente de correlación de Pearson se calculan los distintos coeficientes de correlación entre los criterios. Ambas expresiones proporcionan la información para calcular la ponderación de cada uno de los criterios de acuerdo con la expresión del cálculo de los pesos vista anteriormente.

$$r_{jk} = \frac{\text{cov}(j,k)}{s_j * s_k} \quad (2.12)$$

2.4.2. Métodos subjetivos

Los métodos subjetivos conforman un eslabón fundamental en la cadena de Elaboración de los métodos multicriterio, demostrando que la experiencia subjetiva es real, no hay duda de ella. En cambio la hipótesis objetiva es fruto de una combinación de imaginación y percepción, susceptible de error, y siempre sujeta a revisión. La existencia de la percepción es una certeza. La existencia del hecho percibido es una hipótesis. Desde la década de 1950 el uso de los métodos cualitativos de pronósticos y comprobación se han popularizado. Estos métodos se utilizan más cuando no existe un conjunto de datos históricos útiles en los cuales pueda basarse un análisis. Los análisis cualitativos son cada vez más importantes y comienzan a formar parte de las investigaciones en múltiples esferas.

Para dar continuidad a los métodos por los cuales son conformados, se necesita primero tener en cuenta ciertos conceptos que se hacen imprescindibles para el completo entendimiento del proceso en cuestión.

¿Qué se entiende por experto?

Se entiende por experto a un individuo, grupo de personas u organizaciones capaces de ofrecer con un máximo de competencia, valoraciones conclusivas sobre un determinado problema, hacer pronósticos reales y objetivos sobre efecto, aplicabilidad, viabilidad, y relevancia que pueda tener en la práctica la solución que se propone y brindar recomendaciones de qué hacer para perfeccionarla.

¿Qué se conoce por criterio de expertos?

Aunque los términos, (criterio de especialistas, criterio de usuarios y criterio de evaluadores externos) están bajo la sombrilla de un método cualimétrico del nivel empírico resulta necesario, por sobre todo para acciones de investigación, aludir a las marcas diferenciales del énfasis que pone uno u otro en el proceso de evaluación de una propuesta científica. Este es el objetivo del proceso evaluativo, lo cual permite esclarecer la responsabilidad que se asume por parte del investigador al decidir el empleo de uno u otro y establecer el alcance de la evaluación realizada.

2.4.2.1. Método Delphi

Un método de pronóstico cualitativo muy popular es el método Delphi. Fue desarrollado por Olaf Helmer y otros en la RAND Corporation a mediados de la década de 1960. Este procedimiento utiliza un grupo de expertos para el análisis que se mantienen aislados con objeto de minimizar el efecto de presión social y otros aspectos del comportamiento de pequeños grupos.

No existe una estructura rígida para aplicar el método Delphi, pero es usual que se siga una determinada secuencia. Su uso en general requiere una considerable flexibilidad para satisfacer las necesidades de la situación, un análisis comparativo de la introducción y la expansión del nuevo producto, basando la comprobación en patrones de similitud. Este método no requiere que se llegue a un consenso. El objetivo es más bien obtener un número de opiniones que se haya reducido por la aplicación del método, esta información sirve después para validar el producto. Es decir, el método Delphi procede por medio de la interrogación a expertos con la ayuda de cuestionarios sucesivos, a fin de poner de manifiesto convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos. La encuesta se lleva a cabo de una manera anónima (actualmente es habitual realizarla haciendo uso del correo electrónico o mediante cuestionarios web establecidos al efecto) para evitar los efectos de "líderes". El objetivo de los cuestionarios sucesivos, es disminuir el espacio intercuartil precisando la mediana. Una vez plasmados los criterios de los expertos en cada rango de valoración para los diferentes aspectos en una tabla de Aspectos / Rangos de Valoración, se siguen los siguientes pasos establecidos hasta llegar a concluir que valoración tiene cada uno de los aspectos.

Pasos

Obtención de la tabla de frecuencia observada Obtención de la tabla de frecuencia acumulativa Obtención de la tabla de frecuencia acumulativa relativa.

Asignación a partir de la tabla de Z de la distribución normal, del valor de la imagen que corresponde a cada frecuencia acumulativa relativa obtenida.

Obtención de los puntos a través del cálculo de N-P, donde:

$$N = \frac{\text{Sumatoria de la suma por aspectos}}{\text{No.de Rangos de Valoración x No.de Aspectos}} \quad (2.13)$$

P = Promedio por aspectos

Se divide la recta por categorías a partir de los Puntos de Corte y se ubican los puntos N-P para determinar la categoría de cada aspecto.

$$\text{Puntos de Corte} = \frac{\text{Sumatoria Rangos de Valoración}}{\text{No.de Aspectos a Evaluar}} \quad (2.14)$$

Análisis de la información obtenida Con estos resultados podemos otorgar los respectivos rangos de valoración a cada aspecto analizado, es decir:

1. Muy Adecuado
2. Bastante Adecuado
3. Adecuado
4. Poco Adecuado
5. Inadecuado

Ventajas

Se basa en la suposición de que varios expertos pueden llegar a un mejor pronóstico que una sola persona.

No existe secreto y se fomenta la comunicación porque a veces los pronósticos y validaciones tienen influencia de factores sociales y pueden no reflejar un consenso.

Como pronóstico visionario es una profecía que usa ideas y juicio personales, vinculados entre sí.

Desventajas

Se ha criticado por su poca seguridad, demasiada sensibilidad de los resultados a la ambigüedad de las preguntas.

Dificultad para establecer el grado de experiencia de los miembros del panel, la imposibilidad de que tome en cuenta lo inesperado y por los grandes retrasos entre las repeticiones del proceso.

Los métodos cualitativos confían principalmente en el juicio de los expertos y tienden a ser menos precisos que los métodos cuantitativos. A pesar de estas limitaciones y teniendo en cuenta sus cualidades positivas, su uso actual en las organizaciones e investigaciones sugiere que con frecuencia su potencial excede a sus limitaciones.

2.4.2.2. Coeficiente de concordancia de Kendall

En la prueba estadística el coeficiente de concordancia de Kendall (W), ofrece el valor que posibilita decidir el nivel de concordancia entre los expertos. El valor de W oscila entre 0 y 1. El valor de 1 significa una concordancia de acuerdos total y el valor de 0 un desacuerdo total. La tendencia a 1 es lo deseado pudiéndose realizar nuevas rondas si en la primera no es alcanzada significación en la concordancia.

Este coeficiente se calcula mediante la fórmula mostrada a continuación:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}K^2(N^3 - N) - K \sum Li} \quad (2.15)$$

Donde:

W= coeficiente de concordancia de Kendall

S= suma de los cuadrados de las diferencias observadas con respecto a un promedio.

N= tamaño de la muestra en función del número de tripletes, tetrapletes, quintupletes, etc.

K= número de variable incluídas

Li= sumatoria de las liga o empates entre los rangos

Pasos

1. Ordenar las observaciones por rangos, en función de la posible variable independiente. Efectuar la sumatoria de los rangos en función de cada variable.

2. Obtener la sumatoria de la sumatoria anterior y obtener un promedio.
3. Calcular las diferencias obtenidas entre la sumatoria y el promedio, elevarlas al cuadrado y sumarlas. Lo anterior es el valor S.
4. Aplicar la ecuación para obtener el ajuste dado por las ligas o empates.
5. Aplicar a ecuación coeficiente de concordancia de Kendall (W).
6. Transformar W en ji cuadrada y calcular los grados de libertad (gl). $gl = N - 1$.
7. Decidir si se acepta o rechaza la hipótesis.

Ho: no hay concordancia en el juicio de los expertos.

H1: hay concordancia en el juicio de los expertos.

Región crítica

Si $n > 7$

$$X^2 > X^2_{\alpha, n-1}$$

$$X^2 = k(n - 1) * W$$

Si $n \leq 7$

$S \geq S$ tabulada (Tabla de Friedman, mostrada en el apéndice 1)

$$S = \sum \Delta^2$$

$$S = 346$$

$$\alpha = 0.01$$

S tabulada = 343.8; no existen evidencias estadísticas suficientes que indiquen la falta de concordancia en el juicio de los expertos.

2.5. Métodos no compensatorios

En el presente epígrafe se realiza un análisis sobre los métodos no compensatorios, los cuales se desglosan en base al estudio de métodos de reducción del número de alternativas como el de satisfacción, y otros como el lexicográfico, que ayudan en el proceso de toma de decisiones a la hora de seleccionar la mejor alternativa. Los métodos compensatorios y no compensatorios se diferencian sobre la base de si las

ventajas de un determinado atributo o criterio pueden ser intercambiadas por las desventajas de otro atributo, o si este intercambio no es posible. Una estrategia de elección es compensatoria si los intercambios de logros entre atributos (trade-offs) están permitidos. La estrategia será no compensatoria si no están autorizadas dichas compensaciones.

2.5.1. Método de Satisfacción

Siendo visible que en el estudio de los métodos multicriterio se pueden evidenciar varias formas de llegar a una solución factible, en este caso ponemos en consideración otro procedimiento para la eliminación de la cantidad de alternativas, haciendo más fácil la obtención de los resultados esperados.

Procedimiento

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.

2.5.2. Método Lexicográfico

Este es un método para resolver problemas en que se conocen las preferencias ordinales de atributos dados. Se recomienda siempre que se tenga información referente a la importancia de cada uno de los atributos que conforman el conjunto de criterios a considerar, no siendo necesario que se exprese a través de un peso o ponderación, sino que se sea capaz de realizar un ordenamiento de los atributos de acuerdo a la importancia. Para la conforme utilización de este método no necesariamente tiene que estar normalizada u homogenizada la matriz.

El algoritmo trabaja de la forma siguiente:

1. Ordenar los criterios de decisión por su peso.
2. Elegir el criterio de mayor peso.
3. Ordenar las alternativas de acuerdo a ese criterio.
4. Si hay empate entre algunas de las alternativas, se busca el criterio siguiente por su peso, y se desempatan las alternativas. Si persisten empates se continúa de la misma forma con el criterio siguiente.

2.6. Métodos compensatorios

Cuando se habla de hacer cambios en beneficio común, se hace necesario el paso efectivo por un proceso decisional, para ello a veces 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: obtener mediante basamentos objetivos y subjetivos la mejor alternativa a implementar para el decisor. Para llegar al consenso de una fundamentación, ya sea mediante un basamento matemático o a través del criterio de expertos, es necesario regirse por un procedimiento que evidencie la factibilidad del proceso de selección de la mejor alternativa para su eficaz implementación.

2.6.1. Método de Dominación

Este método pertenece al conjunto de los métodos no compensatorios, los cuales en su sin fin de atributos no tienen en cuenta todos los criterios de decisión a la hora de seleccionar la mejor alternativa o a la hora de reducirlas. Para hacer más explícito el tema en cuestión se introducen una serie de conceptos, que facilitan el entendimiento del tema en cuestión.

Dominancia

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.

2.6.2. 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

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
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} .

2.6.3. Método de las permutaciones

Las permutaciones son todas las distintas ordenaciones que se pueden obtener de un conjunto de elementos dados. El número de permutaciones de un conjunto dado es $m!$ (m factorial), donde m es el número de elementos del conjunto. El número de permutaciones crece rápidamente con el número de elementos del conjunto, así que computacionalmente es desaconsejable en caso de conjuntos grandes, pero en ocasiones puede ser útil para conjuntos pequeños.

Es un arreglo de todos o parte de un conjunto de objetos considerando el orden en su ubicación, cuando es un arreglo solo entran parte de los elementos del conjunto se llama variación. Es importante resaltar que el orden es una característica importante en la permutación, cuando se varía el orden de los elementos se dice que se permuta dichos elementos.

2.7. Aplicación de métodos multicriterio

A través del análisis bibliográfico realizado en el capítulo anterior se decide seleccionar el método Suma ponderada y el método PROMETHEE correspondientes a las escuelas americana y europea, respectivamente. Esto se debe a que las ventajas que estos proporcionan superan sus limitantes siendo idóneos para dar solución al problema de investigación

2.7.1. Método de la suma ponderada (utilidad aditiva)

El método de la suma ponderada calcula la ponderación de las alternativas como resultado del sumatorio del producto del peso de cada variable (calculado por Diakoulaki, Entropía o por ordenación simple, etc) por el valor que toma para esa alternativa la variable correspondiente.

El proceso parte de información como la de la **tabla 4**, donde se tiene el valor normalizado de las variables para cada alternativa y el peso o ponderación de cada variable, previamente calculado por alguno de los métodos conocidos. La ponderación de cada alternativa se obtiene mediante la fórmula siguiente.

$$U_i = \sum_{j=1}^n (N_{ij} * W_j) \quad (2.16)$$

Siendo:

U_i = ponderación final obtenida de cada alternativa.

w_j = peso de cada variable obtenido por uno de los métodos conocidos de ponderación (Diakoulaki, entropía u ordenación simple, etc)

W_j = valor de cada variable para cada alternativa

Tabla 5. Suma ponderada

Alternativa	Variable A	Variable B	Variable C
1	X ₁ A	X ₁ B	X ₁ C
2	X ₂ A	X ₂ B	X ₂ C
3	X ₃ A	X ₃ B	X ₃ C
4	X ₄ A	X ₄ B	X ₄ C
5	X ₅ A	X ₅ B	X ₅ C
6	xPA	xPB	xPC
Pesos	wA	wB	wC

Fuente: (Barba Romero S, Pomerol J.C (1997))

2.7.2. Los métodos PROMETHEE I y II

Los métodos PROMETHEE I (clasificación parcial) y PROMETHEE II (clasificación completa) fueron desarrollados y finalmente publicados por J.P. Brans en 1982. Su nombre hace referencia a las siglas *P*Reference *R*anking *O*rganization *M*ethod for *E*nrichment *E*valuation, y se incluye dentro de los métodos basados en relaciones de

sobreclasificación (*outranking methods*). Como ya se sabe, un problema multicriterio presente una estructura del tipo donde A es un conjunto finito de alternativas y un conjunto de criterios de evaluación. Por lo general este problema estará mal condicionado ya que ninguna alternativa maximizará la totalidad de los criterios, por lo que se deberá llegar a una solución de compromiso.

Algoritmo PROMETHEE

El procedimiento se lleva a cabo mediante el procedimiento mostrado en la **figura 5**.

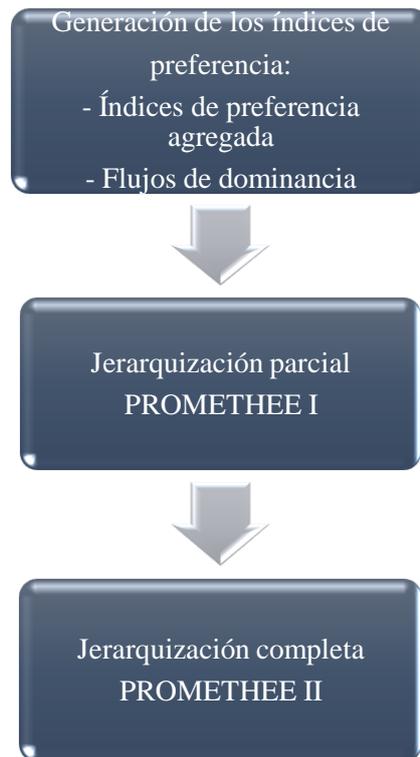


Figura 5: procedimiento de la técnica PROMETHEE. **Fuente:** elaboración propia.

Generación de los índices de preferencia

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

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

Donde:

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

Y, para la cual:

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

Cuando el criterio deba ser maximizado, ésta función da la preferencia de **a** sobre **b**, debido a las desviaciones observadas entre sus evaluaciones sobre el criterio. Ésta función debe tener la forma que indica la **figura 6**.

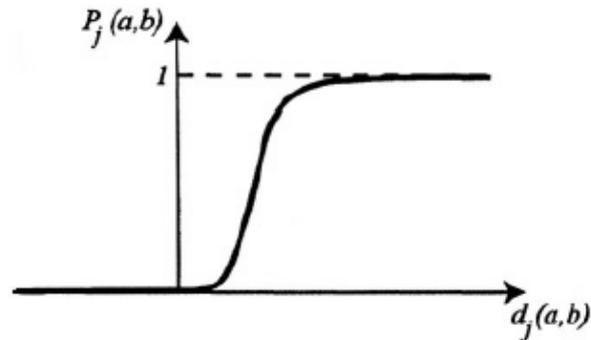


Figura 6: función de preferencia. **Fuente.** Pallar (2015)

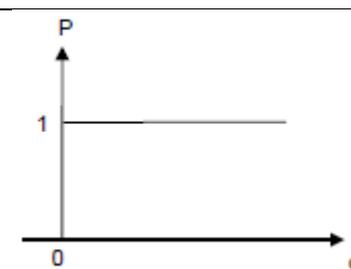
Las preferencias son iguales a cero cuando las desviaciones son negativas. Cuando los criterios deben ser minimizados, la función de preferencia debe invertirse:

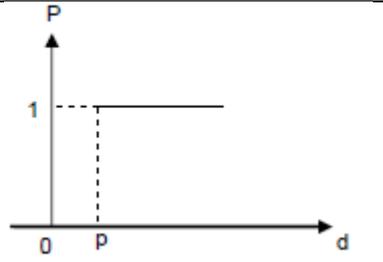
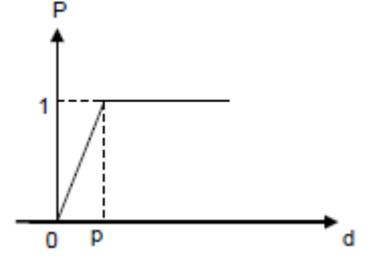
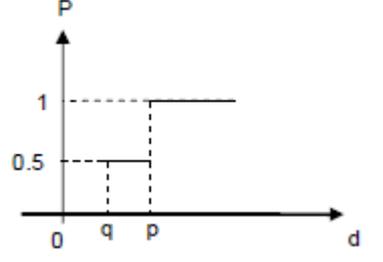
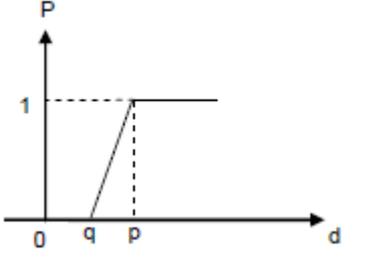
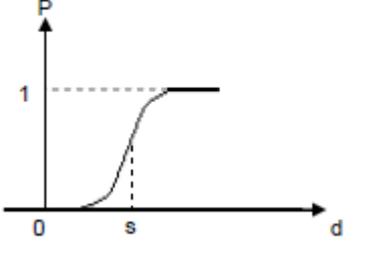
$$P_j(a, b) = F_j[-d_j(a, b)]$$

Visual PROMETHEE propone seis tipos de funciones de preferencia, las cuales se muestran en la **tabla 5**. En cada caso necesita ser definido al menos un parámetro cuyo significado es explicado a continuación:

- **q** es el límite de la indiferencia; es decir, es la desviación más grande que se considera insignificante por el tomador de decisiones.
- **p** es el límite estricto de la preferencia; es decir, es la desviación más pequeña que sea considerada como suficiente para generar una preferencia amplia.
- **s** es un valor intermedio entre **p** y **q**, éste define el punto de inflexión de la función de preferencia. Se recomienda determinar primero **q** y **p**, para después obtener **s** como un valor intermedio entre estos parámetros.

Tabla 6. Funciones de preferencia que propone Visual PROMETHEE

Tipo de función	Forma de función	Definición	Parámetros necesarios
Usual		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	-

U-shape		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	Q
V-shape		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	P
Level		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
V-shape with indifference		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
Gaussian		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	S

Fuente: (Islas, 2009)

Las funciones de preferencia definen cuáles son los umbrales por los que el tomador de decisiones define que una alternativa es mejor, peor o incomparable respecto a otra.

A continuación, se genera la información necesaria para establecer la jerarquización de las alternativas: los índices de preferencia agregada y los flujos de dominancia.

a) Índices de preferencia agregada

Este índice nos señala el grado en que una alternativa es preferida a otra, para todos los criterios. Se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^m P_j(a, b)w_j$$

$$\pi(b, a) = \sum_{j=1}^m P_j(b, a)w_j$$

$\pi(a, b)$ señala el grado en que a es preferida sobre b, mientras que $\pi(b, a)$ nos señala el grado en que b lo es sobre a. En la mayoría de los casos hay criterios para los cuales la alternativa a es mejor que b, y criterios para los cuales b es mejor que a; consecuentemente $\pi(a, b)$ y $\pi(b, a)$ son usualmente positivos.

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

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

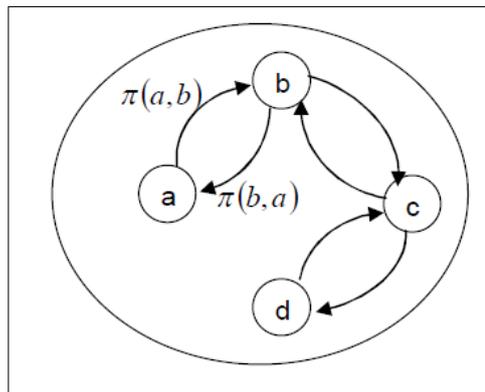


Figura 7: gráfica de índices de preferencia agregada. **Fuente:** (Islas, 2009)

b) Flujos de dominancia

Este parámetro indica el grado en que una alternativa domina, o es dominada, por todas las demás alternativas. Cada alternativa a es comparada contra (n-1) alternativas del conjunto A, definiendo dos flujos (uno positivo y uno negativo) para cada una de ellas:

- Flujo de dominancia positivo:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (2.17)$$

- Flujo de dominancia negativo:

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (2.18)$$

Donde x son todas las alternativas diferentes de a .

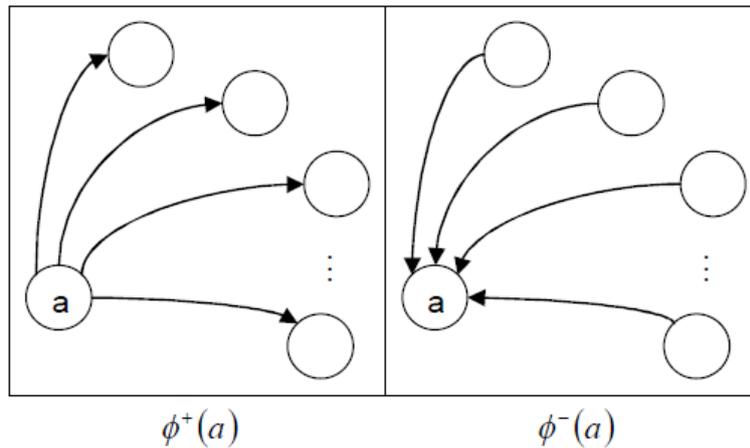


Figura 8: flujos de dominancia. **Fuente:** (Islas, 2009)

El flujo positivo expresa como la alternativa a domina al resto de las alternativas, es su fuerza, su carácter de ser dominante. Entre mayor sea el flujo positivo $\phi^+(a)$, es mejor la alternativa.

El flujo negativo expresa como las demás alternativas dominan a la alternativa a , es su debilidad, su carácter de ser dominado. Entre menor sea el flujo negativo $\phi^-(a)$, mejor es la alternativa.

Jerarquización parcial PROMETHEE I

Analizando las siguientes intersecciones de los flujos de dominancia se obtiene una primera jerarquización (PROMETHEE I).

Relación de preferencia:

$$aP^I b \Leftrightarrow \begin{cases} \emptyset^+(a) > \emptyset^+(b) \text{ y } \emptyset^-(a) < \emptyset^-(b), \text{ o} \\ \emptyset^+(a) = \emptyset^+(b) \text{ y } \emptyset^-(a) < \emptyset^-(b), \text{ o} \\ \emptyset^+(a) > \emptyset^+(b) \text{ y } \emptyset^-(a) = \emptyset^-(b) \end{cases}$$

Relación de Indiferencia:

$$aI^I b \Leftrightarrow \{ \emptyset^+(a) = \emptyset^+(b) \text{ y } \emptyset^-(a) = \emptyset^-(b) \}$$

Relación de incomparabilidad:

$$aR^I b \Leftrightarrow \begin{cases} \emptyset^+(a) > \emptyset^+(b) \text{ y } \emptyset^-(a) > \emptyset^-(b), \text{ o} \\ \emptyset^+(a) < \emptyset^+(b) \text{ y } \emptyset^-(a) < \emptyset^-(b) \end{cases}$$

Cuando $aP^I b$, se asocia un poder mayor de la alternativa a con una debilidad menor de a con respecto a b . La información de ambos flujos es consistente y puede entonces considerarse como segura. La alternativa a es preferida sobre la alternativa b .

Cuando se da la relación aI^Ib , significa que ambos flujos son iguales, por lo tanto, ninguna alternativa sobreclasifica a la otra. Cuando es aR^Ib , existe una relación de incomparabilidad entre las alternativas. Usualmente, dos alternativas a y b son incomparables cuando a es buena bajo un conjunto de criterios para los cuales b es débil e inversamente, b es buena bajo otro conjunto de criterios para los cuales a es débil. Dado que la información correspondiente a ambos tipos de flujos no es consistente, las alternativas se consideran como incomparables, lo que lleva a obtener resultados parciales. Este orden parcial se propone al decisor para que pueda considerar su problema de decisión, o bien, puede pasarse a la siguiente etapa, que es obtener un ordenamiento total o completo por medio de la aplicación de PROMETHEE II.

Jerarquización completa PROMETHEE II

En caso de que el decisor requiera tener una jerarquización completa, se realizará un paso adicional que es calcular el flujo neto de dominancia.

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

Este flujo neto es el balance entre los flujos positivos y negativos. Entre mayor sea el flujo neto $\phi(a)$, mejor es la alternativa. El cálculo de este flujo elimina la posibilidad de incomparabilidad, obteniéndose las siguientes relaciones:

$$aP^IIb \Leftrightarrow \phi(a) > \phi(b)$$

$$aI^IIb \Leftrightarrow \phi(a) = \phi(b)$$

Cuando $\phi(a) > 0$, la alternativa a está dominando más a todas las alternativas, para todos los criterios. Cuando $\phi(a) < 0$, significará que la alternativa a está siendo más dominada. Aunque la jerarquización total es fácil de obtener por medio de PROMETHEE II, se recomienda emplear ambas versiones, pues el análisis de las incomparabilidades puede brindarle al decisor mayor información para tomar la decisión final.

2.8 Conclusiones parciales

1. El procedimiento propuesto puede ser aplicado a cualquier sistema de producción y/o servicio, dadas sus características constructivas, restricciones y resultados.
2. El método de sumas ponderadas brinda una jerarquización que permite la identificación de la mejor solución a problemas de toma de decisiones cuando hay múltiples alternativas a seleccionar, siendo una herramienta de uso sencillo.

3. Tanto el método PROMETHEE como el software Visual PROMETHEE, son herramienta para la jerarquización de las alternativas en un problema de decisión multicriterio.

Capítulo III: Aplicación del procedimiento metodológico para la toma de decisiones con enfoque multicriterio

3.1. Introducción

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

3.2. Formulación del problema

Los predios de la hoy EISA Centro, anterior a 1959, eran conocidos como finca “La cana”. Tras el triunfo del 1ro de enero, la propiedad es integrada al Patrimonio Estatal y en 1976 se edifica el inmueble, ocupado por la Empresa de Reparaciones de Equipos Pesados “Eduardo Reyes Canto”.

Dicha institución dejó de existir a través de la resolución No. 212, del 26 de diciembre de 1977, y surge la Empresa de Reparaciones Generales de Equipos y Agregados del Centro a partir del 1ro. de enero de 1978, con personalidad jurídica propia. La entidad cambió su denominación por la de Empresa Reparadora del Centro “Fidel Rodríguez Moya”, en febrero de 1997. Adquiere la denominación de Empresa Integral de Servicios Automotores “Fidel Rodríguez Moya”, en virtud de la resolución No. 8, dictada el 7 de enero del 2009 por el ministro de economía y planificación, pasando a fusionarse en la actual Empresa Integral de Servicios Automotores EISA, en marzo de 2014, adoptando la estructura de UEB EISA Centro integrada a la EISA.

Caracterización del EISA

EISA, la Empresa Integral de Servicios Automotores, gestiona una cadena de valor competitiva que contribuye al desarrollo nacional y local, y brinda una oferta integral de servicios de reparación, mantenimiento, garantía y postventa; a personas naturales y jurídicas, para lo cual cuenta con una extensa red nacional de plantas y talleres, explotadas por un capital humano competente, que cumple los requisitos exigidos por las partes interesadas.

Misión: La Empresa Integral de Servicios Automotores satisface los requerimientos técnicos del funcionamiento del transporte automotor, con la calidad requerida y al menor costo posible, a personas jurídicas cubanas, en territorio nacional, mediante la comercialización de equipos, piezas de repuesto, accesorios, herramientas y materiales

sobre la premisa de su entrega en el tiempo oportuno, con condiciones financieras favorables y servicios de post venta, garantía y asistencia técnica. Contamos con profesionales de alta calificación, sensibles a las necesidades de nuestros clientes y proveedores, comprometidos con un aporte significativo al proceso de recuperación y modernización del transporte para beneficio de la economía y sociedad cubanas.

Visión: Ser una organización de excelencia en la gestión empresarial, orientada hacia la calidad total, caracterizada por la satisfacción plena de los clientes a través del compromiso y profesionalidad de nuestro personal.

Objetivos estratégicos (2016-2025).

1. Evidenciar la condición de empresa consolidada a partir de crecientes y sostenidos niveles de efectividad.
2. Diseñar, implementar y mantener un sistema de control Interno que utilice como herramientas para la gestión de riesgos las normas NC ISO 31000 gestión de riesgos – principio y directrices y la NC ISO/IEC 30010 gestión de riesgos – técnicas de apreciación del riesgo, que armonice con el SDGE y que se constituya en núcleo de integración de resto de los sistemas.
3. Diseñar, implementar, mantener y certificar un sistema de gestión integrada de capital humano de conformidad con los requisitos de la norma NC 3001 sistema de gestión integrada de capital humano – requisitos y de acuerdo a los requisitos de los clientes internos y los legales y reglamentarios aplicables, que tribute un capital humano de excelencia y altamente motivado como elemento determinante en la agregación de valor.
4. Diseñar e implementar una estrategia de investigación, desarrollo e innovación tecnológica que permita la expansión de la organización, tanto en el mercado nacional como internacional.
5. Desarrollar, implementar y mejorar sistema de organización de la producción de productos y servicios a partir de la adopción de un enfoque de procesos.
6. Diseñar, implementar, certificar y/o avalar el sistema de gestión de la calidad de conformidad con la norma NC ISO 9001 sistemas de gestión de la calidad-requisitos.
7. Diseñar, implementar, certificar el sistema de gestión de la ambiental de conformidad con la norma NC ISO 14001 sistemas de gestión ambiental - requisitos con orientación para su uso.
8. Diseñar e implementar un Sistema de Ciencia e Innovación Tecnológica, para dotar a la empresa de una dimensión científico-tecnológica bien estructurada, capaz de convertirse en el motor del desarrollo de la cadena de valor de EISA.
9. Diseñar e implementar una estrategia de inversión selectiva que permita modernizar de forma progresiva y permanente la infraestructura de EISA.
10. Diseñar e implementar una Estrategia para convertir el ahorro de portadores energéticos, de materias primas, y de materiales en uno de los activos fundamentales para lograr el incremento de la eficiencia en EISA.

11. Diseñar e implementar una estrategia de Exportación de Bienes y Servicios con alto valor agregado para el periodo 2016-2025, que garantice el posicionamiento competitivo de EISA en el área del Caribe insular.
12. Diseñar e implementar una estrategia de sustitución de importaciones para el periodo 2016- 2025, como forma de contribuir con el país en la disminución de la dependencia de importaciones.

Valores compartidos

Los valores compartidos que es necesario gestionar para cumplimentar la misión y la visión 2025 en EISA, son los siguientes:

1. Laboriosidad (valor ético).
2. Integralidad (valor de desarrollo).
3. Calidad (valor práctico).

La alta dirección de la Empresa Integral de Servicios Automotores tiene concebido en su procedimiento de elaboración del plan técnico-económico anual, establecer instrucciones necesarias para la presentación del plan anual, a partir de las premisas, directivas generales y específicas recibidas del Ministerios de Economía y Planificación (MEP), así como la metodología para la elaboración de un plan coherente y ajustado a las posibilidades reales del país en el momento que se practique este.

Con el objetivo de mejorar tanto las condiciones de trabajo como la imagen de la empresa en general, la dirección ha comenzado a desarrollar desde hace un par de años el plan directivo: Proyecto Imagen, centrado precisamente en realzar la apariencia de la entidad, reparar e incluso renovar partes de la instalación. El proyecto está a cargo del departamento de desarrollo

A continuación se mencionan las tareas que forman parte de este proyecto y que aún siguen sin ser realizadas

1. Reparación de baños del taller Centro, Perla y Colón
2. Reparación de la cocina
3. Reparación de instalación eléctrica
4. Reparación de pisos del taller de arme y desarme de motores. Se repararán los pisos demoliendo por paños el existente y refundiendo según la NPT que se requiera
5. Reparación de instalación hidro sanitaria
6. Pintar paredes de talleres de Centro, Colon y Perla
7. Sustitución de los cristales del taller de Centro
8. Reparación de locales para oficinas y pisos de los talleres
9. Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas

10. Reparación de puertas con carpintería de aluminio

Actualmente la empresa no cuenta con el capital suficiente para desarrollarlos todos de forma conjunta, por lo cual se precisa seleccionar uno que será puesto en marcha inicialmente y, lograr la generación de los ingresos necesarios para la implementación de los restantes proyectos. Por consiguiente, el objetivo de este trabajo es la selección de la tarea del Proyecto Imagen (alternativa) a desarrollar de forma inicial, para lo cual se tendrán en cuenta varios criterios, principalmente de corte económico por ser la mayor limitante de la empresa en el contexto actual

Además del costo, el resto de los criterios que serán tenidos en cuenta presentan un alto contenido cualitativo, esto está dado por el hecho de que se trata de proyectos que no reportarán beneficios monetarios a la empresa directamente, sino que su impacto será más sutil y más difícil de cuantificar

Se pretende en el modelo minimizar los gastos que serán generados por cada producto, escoger entre las alternativas, teniendo en cuenta las que presentan una mayor urgencia debido al tiempo en que fueron planificadas y la fecha en la que debían haber estado listas, así como la de mayor importancia para la empresa, o sea, la que dé solución a la máxima cantidad de problemas posibles; la que más impacto tenga sobre los procesos principales y la que más factible sea realizar desde el punto de vista técnico, o sea, la alternativa que la empresa se sienta más capaz de realizar con la mano de obra y los materiales disponibles actualmente dentro del almacén.

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.

Utilizando la escala cualitativa que se presenta en la **tabla 7**, se procede a realizar un análisis que permita cuantificar los criterios cualitativos y establecer sus valores para cada alternativa de decisión, los cuales fueron tomados de datos recopilados a través de entrevistas y análisis de documentos de la Empresa Integral de Servicios Automotores

Tabla 7: Escala de valores cualitativos

Proyecto	Indicador Cualitativo	Correlativo Numérico
A	Alto	5

B	Medio alto	4
C	Medio	3
D	Medio bajo	2
E	Bajo	1

Fuente: Contreras (2008)

Existen varios de los proyectos objetos de estudio que se hayan atrasados, convirtiéndose en prioridad máxima, mientras que otros todavía están dentro de la fecha límite, siendo, por tanto, menos urgentes (Ver Anexo 1)

Se hace necesario tener en cuenta los criterios que evalúan la importancia para la empresa que tiene cada proyecto, en específico, cuántos problemas de cualquier índole es capaz de solucionar o prevenir cada alternativa (Ver Anexo 2), así como el criterio que evalúa el impacto sobre los procesos principales que traería consigo cada alternativa, las cuales no están ligadas de forma directa a dichos procesos por lo que su impacto no resulta tan fuerte aunque no deja de ser significativo

Es importante tener en cuenta las facilidades con las que cuenta la empresa para hacer frente a los proyectos asignados. El departamento de Desarrollo de la entidad cuenta con una brigada de trabajo y materiales para una gran variedad de tareas de esta índole, pero no se trata de especialistas que puedan hacer frente a cualquier proyecto. Además, cabe señalar que no es conveniente realizar un proyecto que obligue a detener los procesos principales durante mucho tiempo.

Establecido lo anterior, se puede proceder a realizar la **tabla 8**, donde se recopilen los valores de los criterios definidos anteriormente para cada alternativa.

Tabla 8: valores de los criterios para cada alternativa

Alternativa/Criterio	Costo (MN)	Urgencia	Importancia para la empresa	Factibilidad para la técnica	Impacto sobre los procesos principales
Reparación de baños del taller Centro, Perla y Colón	8000	5	4	1	3

Reparación de la cocina	6000	5	4	1	3
Reparación de instalación eléctrica	8000	4	5	5	1
Reparación de pisos del taller de arme y desarme de motores. Se repararán los pisos demoliendo por paños el existente y refundiendo según la NPT que se requiera	40000	3	5	4	3
Reparación de instalación Hidro Sanitaria	7000	2	4	3	1
Pintar paredes de talleres de Centro, Colon y Perla	26250	1	3	2	5
Sustitución de los cristales del taller de Centro	40000	2	1	2	2
Reparación de locales para oficinas y pisos de los talleres	20000	2	5	4	4
Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas	19860	3	5	5	4
Reparación de puertas con carpintería de aluminio	26460	2	1	1	3
	Minimizar	Maximizar	Maximizar	Maximizar	Maximizar

Fuente: elaboración propia

3.2. Aplicación de métodos de pre-análisis

Vista la importancia de que tiene el análisis de forma temprana de las alternativas y atendiendo a la posibilidad de reducir el conjunto de alternativas para facilitar el trabajo del decisor se procede al desarrollo de las mismas.

Debido a insuficiente información e inexperiencia de los decisores para establecer los rangos de preferencia para cada criterio no se desarrolla el método de satisfacción.

Se procede a aplicar el método de dominación buscando disminuir el número de alternativas (Ver Anexo 4)

Después de eliminar las alternativas que resultaron dominadas se obtiene la matriz decisional siguiente:

Tabla 9: matriz de decisión

	Costo (Mn)	Urgencia	Importancia Para La Empresa	Factibilidad Técnica	Impacto Sobre Los Procesos Principales
Reparación de la cocina	6000	5	4	1	3
Reparación de instalación eléctrica	8000	4	5	5	1
Reparación hidro sanitaria	7000	2	4	3	1
Pintar paredes de talleres de centro, colón y perla	26250	1	3	2	5
Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas	19860	3	5	5	4
	Min	Max	Max	Max	Max

Fuente: elaboración propia

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 10**.

Tabla 10: matriz de los valores normalizados

	Costo (MN)	Urgencia	Importancia Para La Empresa	Factibilidad Técnica	Impacto Sobre Los Procesos Principales
Reparación de la cocina	0,318175	0,333333	0,190476	0,0625	0,214286
Reparación de instalación eléctrica	0,238626	0,266667	0,238095	0,3125	0,071429
Reparación hidro sanitaria	0,272721	0,133333	0,190476	0,1875	0,071429
Pintar paredes de talleres de centro, colón y perla	0,074356	0,066667	0,142857	0,125	0,357143
Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas	0,096122	0,2	0,238095	0,3125	0,285714
	Maximizar	Maximizar	Maximizar	Maximizar	Maximizar
Σ	1	1	1	1	1

Fuente: elaboración propia

Ya en este paso se consigue que las alternativas puedan ser comparadas de acuerdo a cada criterio.

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 a nivel empresarial. Los pesos relativos a cada criterio se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 11: valores de los pesos calculados, por el método de la Entropía, para cada criterio.

	Ej	Dj	Wj
Costo (Mn)	0,918519	0,0814809	0,225288
Urgencia	0,925196	0,07480381	0,206827

Importancia Para La Empresa	0,98936	0,010640101	0,029419
Factibilidad Técnica	0,91545	0,084550114	0,233774
Impacto Sobre Los Procesos Principales	0,889801	0,110198971	0,304692

Fuente: elaboración propia

3.5. Aplicación de los métodos multicriterio

3.5.1. Aplicación del método de la escuela americana: Suma ponderada

Como se expuso anteriormente el método calcula las ponderaciones de las alternativas basándose en el peso de cada criterio, ya calculados por el método de la Entropía. Los resultados de la aplicación del método se pueden apreciar en la **tabla 12**.

Tabla 12: ponderación final obtenida para cada alternativa

Alternativas	Ponderación
Reparación de la cocina	0,226129
Reparación de instalación eléctrica	0,210736
Reparación hidro sanitaria	0,160218
Pintar paredes de talleres de centro, colón y perla	0,172783
Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas	0,230134

Fuente: elaboración propia

Según el criterio de selección las alternativas resultan ordenadas de la siguiente manera: Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas, como el mejor proyecto a implementar; seguido de Reparación de la cocina; Reparación de instalación eléctrica; Pintar paredes de talleres de centro, colón y perla y en última opción Reparación hidro sanitaria

3.5.2. Aplicación del método de la escuela europea: PROMETHEE

Generación de los índices de preferencia.

Siguiendo los pasos establecidos en el capítulo 2 y auxiliándose en el Visual PROMETHEE se procede a desarrollar el método. Primeramente, se introducen los datos antes recopilados, la **figura 9** muestra la ventana inicial del software. En este paso, se ingresan las cinco alternativas y los valores de cada criterio para cada una de

ellas, según la caracterización presentada en la **tabla 8**. Es necesario precisar a cada criterio los parámetros siguientes: criterio de optimización (minimización o maximización); peso porcentual de cada criterio (calculado anteriormente y resumido en la **tabla 11**); tipo de función de preferencia, se escoge típicamente para todos los criterios una función lineal definida por un umbral de indiferencia q , y umbral de preferencia p . Tales parámetros fueron precisados basados en los criterios y experiencia de los decisores de la empresa objeto de estudio.

	<input checked="" type="checkbox"/>					
Escenario1	Costo	Urgencia	Importancia ...	Factibilidad t...	Impacto sobr...	
Unidad	cup	5-point	5-point	5-point	5-point	
Cluster/Grupo	◆	◆	◆	◆	◆	
Preferencias						
Min/Max	min	max	max	max	max	
Peso	0,23	0,21	0,03	0,23	0,30	
F. de Preferencia	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal	
Umbrales	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	
- Q: Indiferencia	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
- P: Preferencia	6000,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
- S: Gaussiano	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Estadísticas						
Mínimo	6000,00	1,00	3,00	1,00	1,00	
Máximo	26250,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
Media	13422,00	3,00	4,20	3,20	2,80	
Desv. est.	8145,33	1,41	0,75	1,60	1,60	
Evaluaciones						
<input checked="" type="checkbox"/> Reparación de la...	<input type="checkbox"/>	6000,00	alta	medio alta	baja	medio
<input checked="" type="checkbox"/> Reparación de la...	<input type="checkbox"/>	8000,00	medio alta	alta	alta	baja
<input checked="" type="checkbox"/> Reparación de la...	<input type="checkbox"/>	7000,00	medio baja	medio alta	medio	baja
<input checked="" type="checkbox"/> Pintar paredes d...	<input type="checkbox"/>	26250,00	baja	medio	medio baja	alta
<input checked="" type="checkbox"/> Reparaciones de...	<input type="checkbox"/>	19860,00	medio	alta	alta	medio alta

Figura 9: matriz de funciones de preferencia en Visual PROMETHEE. **Fuente:** salidas del software Visual PROMETHEE

Luego de introducir los datos necesarios el software aplica el método suma de flujos positivos y negativos basados en las preferencias del decisor que presentó su deseo de minimización u maximización para cada alternativa, los cuales se pueden observar jerarquizados según la calificación del software en orden de posición 1 a 5, siendo el

menor número el más cercano a la preferencia del decisor contigo a la calificación obtenida por cada criterio, presentado en la **figura 10**.

Rang	alternativa		Phi	Phi+	Phi-
1	Rep de carpintería y	<input type="checkbox"/>	0,2224	0,4431	0,2207
2	Rep de cocina	<input type="checkbox"/>	0,1968	0,4483	0,2515
3	Rep de inst eléct	<input type="checkbox"/>	0,1421	0,3987	0,2567
4	Rep de la inst Hidro	<input type="checkbox"/>	-0,2777	0,1805	0,4582
5	Pintar paredes de	<input type="checkbox"/>	-0,2835	0,2285	0,5120

Figura 10: matriz de índices de preferencia. **Fuente:** salidas del software Visual PROMETHE

Queda muy claro que Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas domina o se sobrepone al resto de alternativas considerablemente más de lo que ellas lo hacen consigo. En la **figura 11** se observa la representación en formato grafo de la tabla constituida en la **figura 10**. Esta es una representación del orden parcial de PROMETHEE I. Las alternativas son representadas mediante nodos y las flechas se trazan para indicar las preferencias.

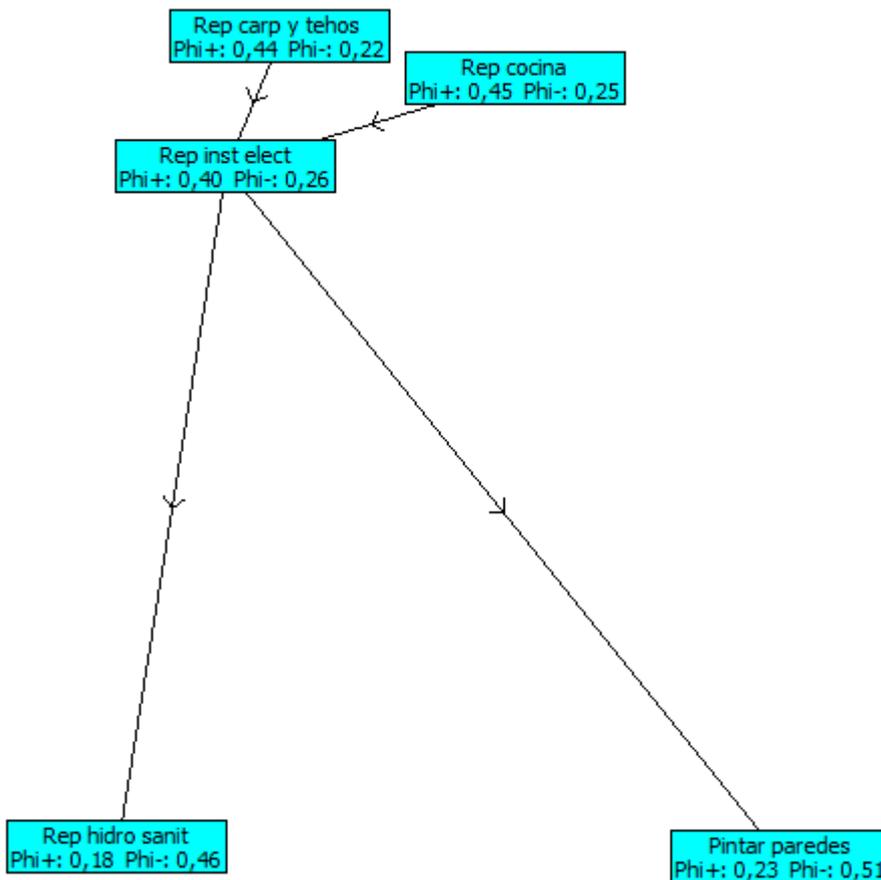


Figura 11: red de preferencias PROMETHEE. **Fuente:** salidas del software Visual PROMETHEE

En contrapartida con lo anterior la alternativa Pintar paredes de Centro, Colón y Perla es superada por todas las demás en el ranking de fortaleza; pues es la alternativa que menos ha dominado a las demás. Muy seguido a esta se encuentra Reparación de la instalación hidro sanitaria en la segunda posición de menos débil, pero es dominado por las restantes alternativas. Reparación de la cocina es una alternativa más poderosa que excursión a Reparación de la instalación eléctrica.

El arco iris PROMETHEE es una visión desagregada del ordenamiento completo del PROMETHEE II. Las alternativas se disponen desde la izquierda hacia la derecha de acuerdo con el ordenamiento completo.

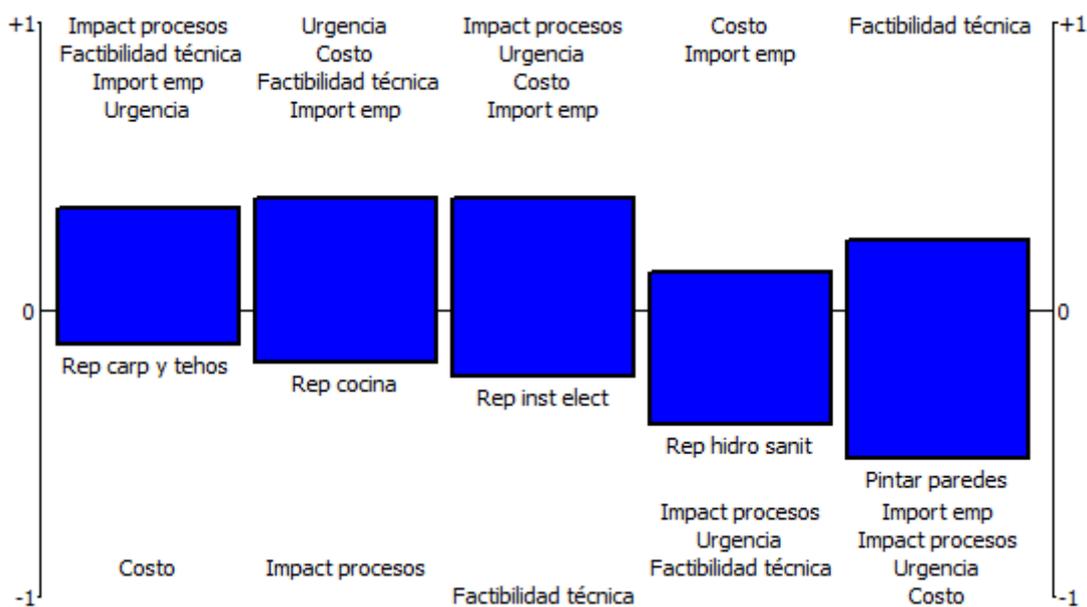


Figura 12: arco iris PROMETHEE. **Fuente:** salidas del software Visual PROMETHEE

PROMETHEE I no da valor a cuanto diferencia hay entre la mayor fortaleza del uno frente a la menor debilidad del otro, simplemente contempla que cada una de las alternativas es superior en uno de los aspectos del ranking y por tanto sitúa a las dos alternativas al mismo nivel. Visualmente, puede observarse que cuando dos alternativas son incomparables las rectas que las vinculan se intersectan en algún punto, (**figura 13**).

PROMETHEE II da valor a la diferencia de diferencias, de una manera un tanto arbitraria, aunque quizás pueda aportar algo de información al tomador de decisiones.

En esta representación desaparecen las incomparabilidades y las alternativas se ordenan desde la mejor a la peor. Como puede observarse, la parte verde del eje vertical representa a los flujos positivos y la parte roja a los flujos negativos. Se ha producido un balance entre el poder de superación de cada alternativa y su debilidad relativa, (figura 14).

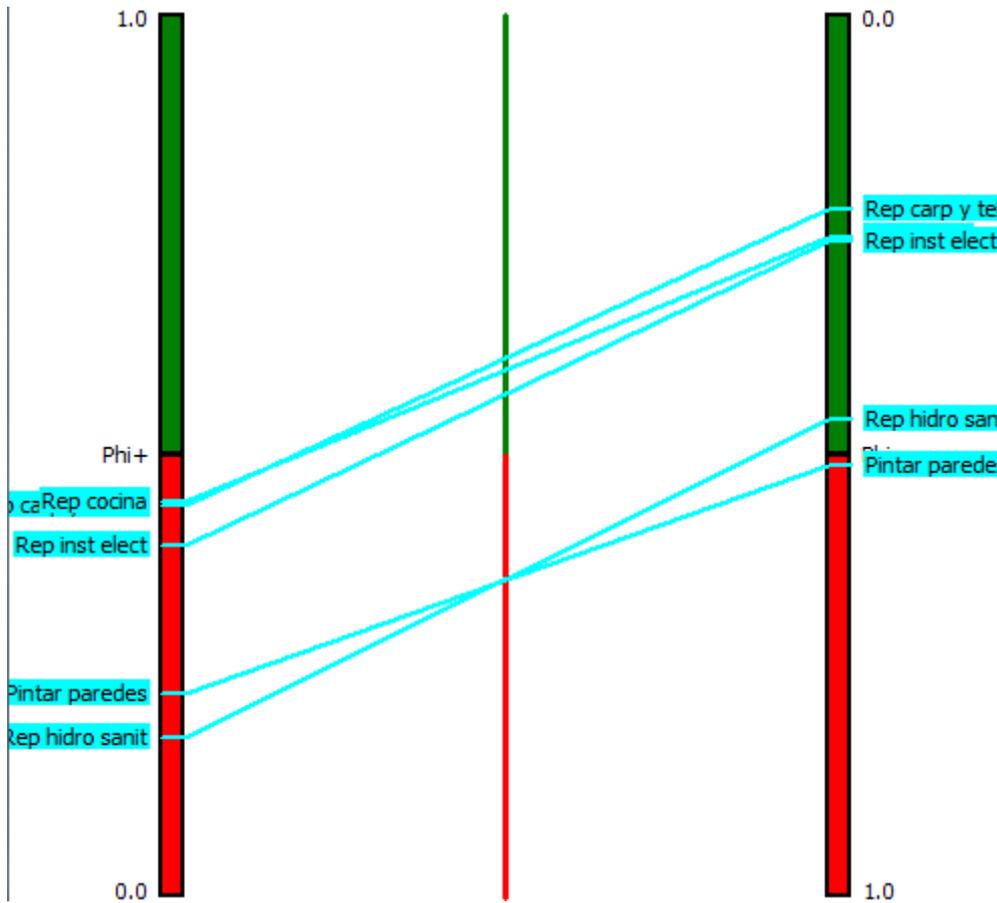


Figura 13: ordenamiento parcial PROMETHEE I. **Fuente:** salidas del software Visual PROMETHEE

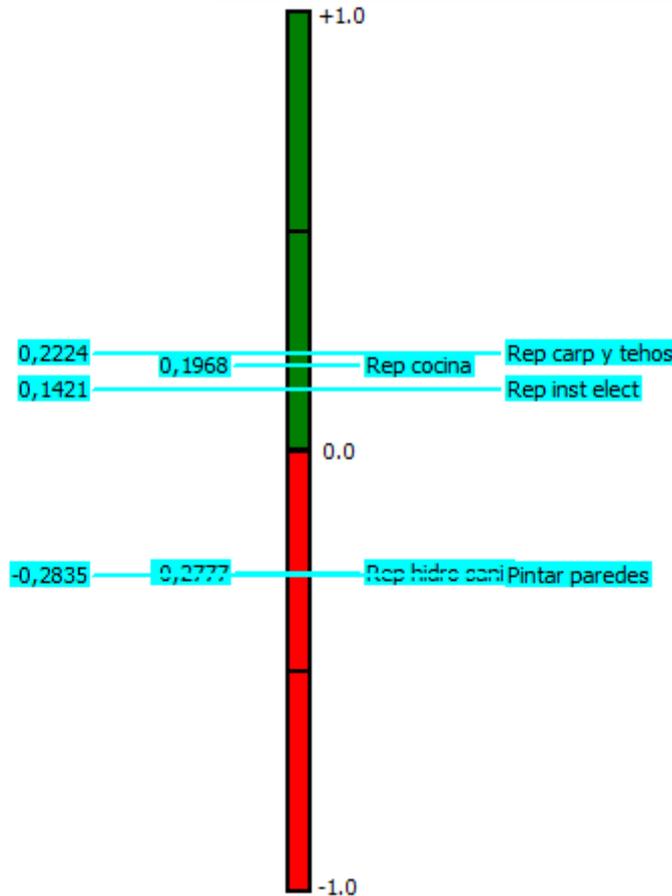


Figura 12: ordenamiento total PROMETHEE II. **Fuente:** salidas del software Visual PROMETHEE

3.6. Comparación de resultados

Después de la realizar la jerarquización de los proyectos a implementar en la Empresa Integrada de Servicios Automotores mediante los dos métodos a tratar: suma ponderada y PROMETHEE se puede establecer una comparación de los resultados de los mismos. Ambos métodos determinaron una ponderación basada en los valores de los criterios a considerar en el caso que se analiza, posibilitando la elección de la mejor opción a efectuar en el hotel. Las alternativas fueron ordenadas de la misma manera por cada método (**tabla 13**). Aunque la metodología a seguir es diferente para cada uno se aprecia consistencia en los resultados, esto demuestra la factibilidad de los métodos como herramientas para la ayuda de la toma de decisiones cuando hay varios criterios y estos se contraponen entre sí.

Tabla 13: Orden de los resultados para cada método

Alternativa	Suma Ponderada	PROMETHEE
Reparación de la cocina	2	2

Reparación de instalación eléctrica	3	3
Reparación de la instalación hidro sanitaria	5	4
Pintar paredes de talleres de centro, colón y perla	4	5
Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas	1	1

Fuente: elaboración propia

3.7. Conclusiones parciales

1. Se puede concluir que la aplicación tanto del método suma ponderada como PROMETHEE evidencia la gran ayuda que proporciona la aplicación de las técnicas empleadas en la búsqueda de soluciones a los problemas reales que se presentan en las organizaciones.
2. Con el empleo de los métodos multicriterio se pudo determinar que proyecto será el primero en ponerse en marcha, para mejorar las condiciones de trabajo de la Empresa Integrada de Servicios Automotores
3. El software Visual PROMETHEE es una herramienta muy fácil y sencilla de utilizar, ya que los datos que requiere se pueden introducir de una manera rápida; su presentación gráfica es muy útil para la interpretación de los resultados, cuenta con herramientas de comparación, lo que facilita el proceso de toma de decisiones.

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 del proyecto de mejora a implementar en la Empresa Integrada de Servicios Automotores, siendo las reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas la alternativa más idónea.

Recomendaciones

1. Aplicar los métodos multicriterio en todas las empresas que desean implementar proyectos de esta índole 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

Adel Mendoza, D. R. (2016). "Aplicación de los métodos de toma de decisiones LP-GW-AHP y lógica difusa para la selección de una electiva académica en la Universidad del Atlántico, Colombia".

Avendaño, E. R. T. (2017). Implementación de métodos para la toma de decisiones multicriterio en diviz para evaluar el uso de herramientas en el Eva Moodle. Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. **Ingeniero en sistemas informáticos.**

Bello, S. R. (2006). Toma de decision multicriterio con AHP, ANP y Logica difusa Ingenieria de Sistemas y Computacion, Universidad Nacional de Colombia: 16.

Berumen, S. A. (2016). "La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente."

Blanca Ceballos, M. T. L., David Pelta (2015). Una Comparativa de Modelos de Decisión Multi-Criterio Difusos. Depto. de Ciencias de la Computación e IA. Actas de la XVI Conferencia CAEPIA, Universidad de Granada. **ETSI Informática y de Telecomunicación.**

Chávez, M. V. H. (2013). "Metodología de análisis multicriterio aplicación al crecimiento sostenible en la Unión Europea." UNMSM 16(31).

Diaz, A. H. (2018). "Implementará polo Jardines del Rey nuevas propuestas culturales." 17 Enero 2018.

Enrique Ballesteros, D. C. (1996). "Metodología Multicriterio en las Decisiones Empresariales."

Gonzalez, K. J. Á. (2012). Estudio del Método de Suma Ponderada en Problemas Clásicos de Optimización Multiobjetivo. Decanato de Ciencias y Tecnología, Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado. **Licenciada en Ciencias Matemáticas.**

Herce, A. C. (2017). "Métodos de decisión multicriterio y sus aplicaciones".

Hernández, C. P., Ingrid; Giral, Diego (2015). "Modelo AHP-VIKOR para handoff espectral en redes de radio cognitiva." Tecnura 19(45): 29-39.

Islas, J. G. (2009). Las lineas estrategicas del sector hidrico en Mexicio en materia de investigacion, desarrollo tecnologico y formacion de recursos humanos: una jerarquizacion empleando el metodo PROMETHEE. Facultad de ingenieria, Universidad Nacional Autonoma de Mexico. **Maestro en ingenieria de sistemas - palneacion: 137.**

Jerónimo Aznar Bellver, F. G. M. (2012). "La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente."

Jiménez, T. L. (2009). Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y "Soft Computing". Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos, Universidad Politecnico de Cartagena **Tesis Doctoral.**

- León, V. P. (2008). "Selección Multicriterio de nuevos productos turísticos en Pinar del Río, Cuba." REVISTA INVESTIGACIÓN OPERACIONAL 2(2): 98-107.
- Loaiza, J. F. R. (2016). Aplicación de Métodos Multi-criterio (MCDA) para planeamiento energético de largo plazo en la industria del cemento. Departamento Ciencias de la Computación y la Decisión Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia: 69.
- Machado, E. L. (2018). "Selection of constructive systems using BIM and multicriteria decision-making method." Revista ALCONPAT 8(2): 209 - 223.
- Maldonado, I. E. I. V. (2010). Pautas para la selección de las técnicas AHP, PROMETHEE y Ábaco de Régnier modificado. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Maestría en Ingeniería 107.
- 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(2): 7-12.
- Martínez, J. A. B. y F. G. (2012). Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterios. E. U. P. d. Valencia.
- Meza, J. E. V. N. y D. S. R. (2007). "Algunas herramientas para la toma de decisiones de inversión en proyectos de alto riesgo".
- Ms.C. Ing. Alina Díaz Curbelo, D. C. F. M. D. y I. Y. M. R. (2012). Manual de Métodos Multicriterio para la toma de decisiones. Departamento de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Ingeniería Industrial: 82.
- Muñoz, B. (2016). Análisis de Sensibilidad de una Metodología de Decisión Multicriterio desarrollada para la Selección de Tipologías de Estructuras de Contención en una Autovía Urbana. XII Congreso de Ingeniería del Transporte València, Universitat Politècnica de València.
- Pacheco, J. F. and E. Contreras (2008). "Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos."
- Pérez-Vázquez, M. J. M. G. y A. (2014). "Métodos para el análisis del potencial turístico del territorio rural." Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 9(28): 1729-1740.
- Pérez, A. C. (2013). La decisión multicriterio ; aplicación en la selección de ofertas competitivas en edificación. Edificación, Universidad Politécnica Valencia Gestión: 182.
- 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(34): 65-87.
- Ríos, G. (2005). "APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS MULTICRITERIO MULTIEXPERTOS DENTRO DEL PERFIL DEL INGENIERO INDUSTRIAL." Ingeniería Industrial XXVI(1): 31-42.

Ríos, R. G. (2005). "APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS MULTICRITERIO MULTIEXPERTOS DENTRO DEL PERFIL DEL INGENIERO INDUSTRIAL." Industrial XXVI(1).

Rodríguez, R. J. (2014). "PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN."

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**(2): 027–046.

Romana, B. M. y. M. G. (2016). "Application of Multicriteria Decision Methods in Evaluating Alternative Solutions for Transportation Facilities."

Romero, C. (1996). "Análisis de decisiones multicriterio."

Sigüenza, O. M. S. (2017). Aplicación de métodos de optimización para electrificación en zonas rurales de Ecuador, Escuela Superior de Tecnología de Gestión **Mestrado en Ingeniería de Energías y Ambiente**.

Vanegas, J. G. (2017). "Evaluación multicriterio e inventario de atractivos turísticos: Estudio de caso." Espacios **38**(23).

Vitoriano, B. (2007). Teoría de la decisión: Decisión de incertidumbre, Decisión Multicriterio y Teoría de Juegos Universidad Complutense Madrid

Xavier Girones, D. M. y. A. V. (2008). Comparación de Dos Métodos de Toma de Decisiones Multicriterio: MACBETH y PROMETHEE. Departamento de Ingeniería Informática y Matemáticas, Universitat Rovira y Virgili: 52.

Zamora, I. C. (2010). Las decisiones multicriterios: que tan factible es su uso; y recomendación en pequeñas y medianas empresas Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Cuenca: 97.

ANEXOS

Anexo 1: Tabla de urgencia de los proyectos

Alternativa	Fecha de emisión	de Fecha de finalización estimada	de Urgencia	Correlativo numérico
Reparación de baños del taller Centro, Perla y Colón	2017	2018	Alta	5
Reparación de la cocina	2017	2018	Alta	5
Reparación de instalación eléctrica	2018	2018	Medio alta	4
Reparación de pisos del taller de arme y desarme de motores. Se repararán los pisos demoliendo por paños el existente y refundiendo según la NPT que se requiera	2017	2019	Medio	3
Reparación de instalación Hidro Sanitaria	2018	2019	Medio baja	2
Pintar paredes de talleres de Centro, Colon y Perla	2019	2019	Baja	1
Sustitución de los cristales del taller de Centro	2018	2019	Medio baja	2
Reparación de locales para oficinas y pisos de los talleres	2018	2019	Medio baja	2

Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas	de	2017	2019	Medio	3
Reparación de puertas con carpintería de aluminio	de	2018	2019	Medio baja	2

Fuente: elaboración propia

Anexo 2. Tabla de importancia para la empresa e impacto sobre los procesos principales

Alternativa	Impacto para la empresa	Escala de importancia	de Correlativo numérico	Impacto sobre los procesos principales	Correlativo numérico
Reparación de baños del taller Centro, Perla y Colón	Imagen corporativa y Seguridad y Salud de los trabajadores	Medio alta	4	Baja	1
Reparación de la cocina	Imagen corporativa y Seguridad y Salud de los trabajadores	Medio alta	4	Baja	1
Reparación de instalación eléctrica	Incremento de la producción y seguridad industrial	Alta	5	Alta	5
Reparación de pisos del taller de arme y desarme de	Eliminación de riesgos y seguridad industrial	Alta	5	Medio alta	4

motores. Se repararán los pisos demoliendo por paños el existente y refundiendo según la NPT que se requiera					
Reparación de instalación Hidro Sanitaria	Imagen corporativa y seguridad y salud	Medio alta	4	Media	3
Pintar paredes de talleres de Centro, Colon y Perla	Mejorar condiciones de trabajo	Media	3	Medio baja	2
Sustitución de los cristales del taller de Centro	Mejorar imagen corporativa	Baja	1	Medio baja	2
Reparación de locales para oficinas y pisos de los talleres	Imagen de la entidad, seguridad industrial y eliminación de riesgos	Alta	5	Medio alta	4
Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas	Eliminación de riesgos	Alta	5	Alta	5
Reparación de puertas con carpintería de aluminio	Imagen de la entidad	Baja	1	Baja	1

Fuente: elaboración propia

Anexo 3. Tabla de factibilidad técnica

Alternativa	Mano de obra	de Materiales	Necesidad de detener la producción	Escala de factibilidad	de Correlativo numérico
Reparación de baños del taller Centro, Perla y Colón	Existe la obra capacitada dentro de la empresa	No existen todos los materiales necesarios para la tarea en el almacén de la empresa, es necesario comprar los materiales faltantes	No	Media	3
Reparación de la cocina	No existe la obra capacitada dentro de la empresa, es necesario contratar un equipo de trabajo	Existen todos los materiales necesarios para la tarea en el almacén de la empresa	No	Media	3
Reparación de instalación eléctrica	No existe la obra capacitada en la empresa para hacer frente a la tarea, es necesario	No existe ni la maquinaria ni los materiales necesarios para la tarea en el almacén de la empresa, es necesario comprar los	Sí	Baja	1

	contratar un equipo de trabajo	materiales faltantes y rentar el equipamiento necesario			
Reparación de pisos del taller de arme y desarme de motores. Se repararán los pisos demoliendo por paños el existente y refundiendo según la NPT que se requiera	No existe mano de obra capacitada en la empresa para hacer frente a la tarea, es necesario contratar un equipo de trabajo	Existen los materiales pero no la maquinaria necesaria para realizar la tarea, es necesario rentar el equipamiento	Sí	Media baja	3
Reparación de instalación Hidro Sanitaria	No existe mano de obra capacitada en la empresa para hacer frente a la tarea, es necesario contratar un equipo de trabajo	No existe ni la maquinaria ni los materiales necesarios para la tarea en el almacén de la empresa, es necesario comprar los materiales faltantes y rentar el equipamiento necesario	Sí	Baja	1
Pintar paredes de talleres de Centro, Colon y Perla	Existe la mano de obra capacitada	Existen todos los materiales necesarios para la tarea en el	No	Alta	5

	dentro de la empresa	almacén de la empresa			
Sustitución de los cristales del taller de Centro	Existe la mano de obra capacitada dentro de la empresa	No existe ni la maquinaria ni los materiales necesarios para la tarea en el almacén de la empresa, es necesario comprar los materiales faltantes y rentar el equipamiento necesario	Sí	Media baja	2
Reparación de locales para oficinas y pisos de los talleres	Existe la mano de obra capacitada dentro de la empresa	Existen todos los materiales necesarios para la tarea en el almacén de la empresa	Sí	Medio alta	4
Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas	Existe la mano de obra capacitada dentro de la empresa	Existen todos los materiales necesarios para la tarea en el almacén de la empresa	Sí	Medio alta	4
Reparación de puertas con carpintería de aluminio	Existe la mano de obra capacitada dentro de la empresa	No existe ni la maquinaria ni los materiales necesarios para la tarea en el almacén de la empresa, es necesario	No	Media	3

		comprar los materiales faltantes y rentar el equipamiento necesario			
--	--	---	--	--	--

Fuente: elaboración propia

Anexo 4. Método de dominación

Tabla de dominio de Reparación de la cocina sobre Reparación de baños de los talleres Centro, Perla y colón

	Costo (Mn)	Urgencia	Importancia Para La Empresa	Factibilidad Técnica	Impacto Sobre Los Procesos Principales
Reparación de baños de los talleres Centro, Perla Y Colón	8000	5	4	1	3
Reparación de la cocina	6000	5	4	1	3

Fuente: elaboración propia

Tabla de dominio de Reparación de la cocina sobre Reparación de puertas con carpintería de aluminio

	Costo (MN)	Urgencia	Importancia Para La Empresa	Factibilidad Técnica	Impacto Sobre Los Procesos Principales
Reparación de la cocina	6000	5	4	1	3
Reparación de puertas con carpintería de aluminio	26460	2	1	1	3

Fuente: elaboración propia

Tabla de dominio de Reparación de pisos del taller de arme y desarme de motores sobre Sustitución de los cristales del taller de Centro

	Costo (MN)	Urgencia	Importancia Para La Empresa	Factibilidad Técnica	Impacto Sobre Los Procesos Principales
Reparación de pisos del taller de arme y desarme de motores	40000	3	5	4	3
Sustitución de los cristales del taller de centro	40000	2	1	2	2

Fuente: elaboración propia

Tabla de dominio de Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas sobre Reparación de pisos del taller de arme y desarme de motores

	Costo (MN)	Urgencia	Importancia Para La Empresa	Factibilidad Técnica	Impacto Sobre Los Procesos Principales
Reparación de pisos del taller de arme y desarme de motores	40000	3	5	4	3
Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas	19860	3	5	5	4

Fuente: elaboración propia

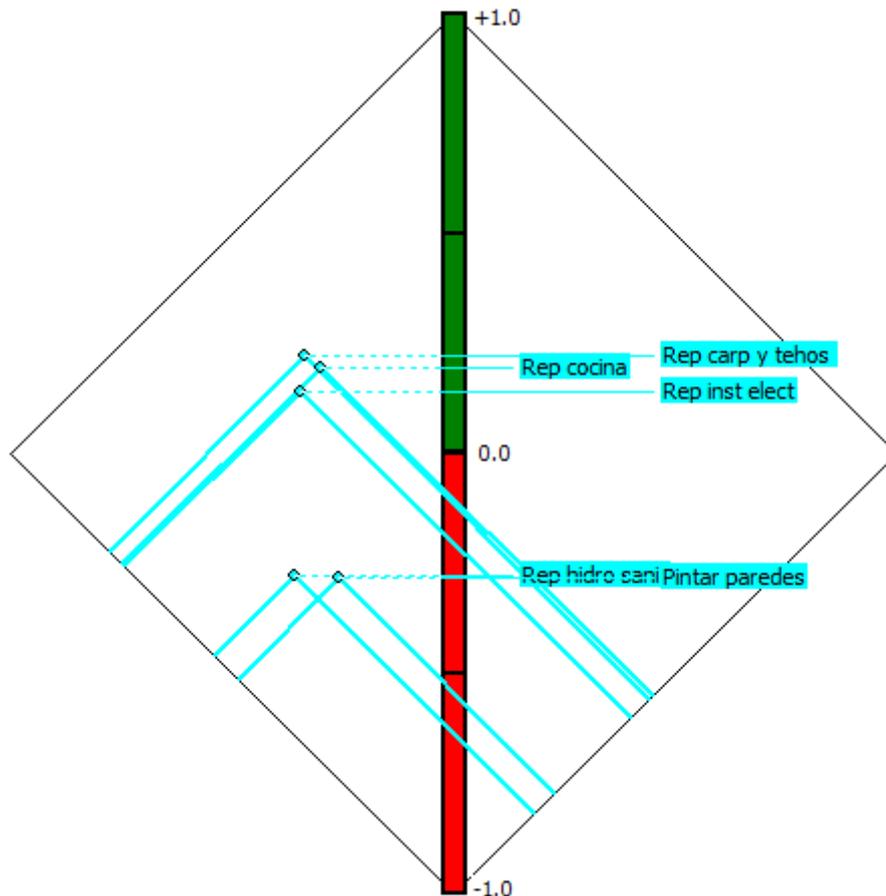
Tabla de dominio de Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas sobre Reparación de locales para oficinas y pisos de los talleres

	Costo (MN)	Urgencia	Importancia Para La Empresa	Factibilidad Técnica	Impacto Sobre Los Procesos Principales
Reparación de locales	20000	2	5	4	4

para oficinas y pisos de los talleres					
Reparaciones de carpintería y techos de los talleres y oficinas	19860	3	5	5	4

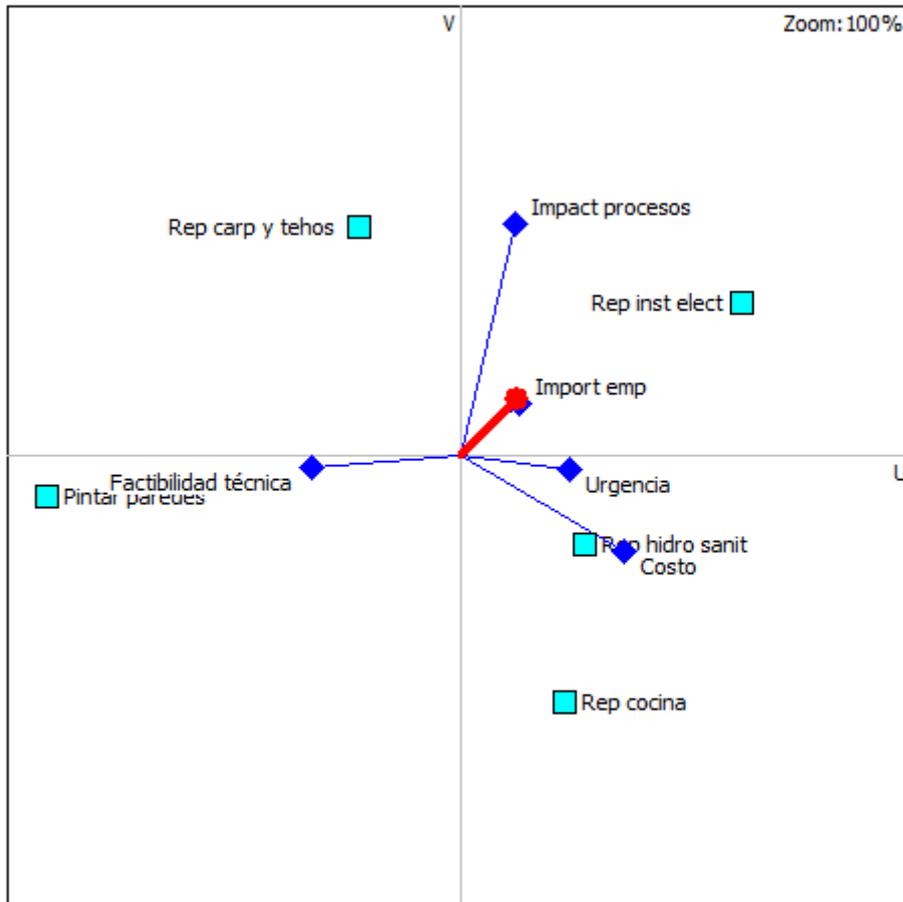
Fuente: elaboración propia

Anexo 5. Diamante PROMETHEE



Fuente: Salidas del software Visual PROMETHEE

Anexo 6. GAIA



Fuente: Salidas del software Visual PROMETHE

Anexo 7. Flujos de preferencia

	Costo	Urgencia	Import emp	Impact	Factibilidad
Rep cocina	0,6250	0,7500	0,0000	-0,7500	0,2500
Rep inst elect	0,3750	0,5000	0,2500	0,7500	-0,7500
Rep hidro sanit	0,5000	-0,5000	0,0000	-0,2500	-0,7500
Pintar paredes	-1,0000	-0,7500	-0,5000	-0,5000	0,7500
Rep carp y tehos	-0,5000	0,0000	0,2500	0,7500	0,5000

Fuente: Salidas del software Visual PROMETHE