



UNIVERSIDAD NACIONAL “SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”

ESCUELA DE POSTGRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PROMETHEE COMO HERRAMIENTA DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE DECISIÓN MULTICRITERIO DISCRETA

Tesis para optar el grado de Maestro
en Matemática

MIGUEL DIONICIO ROSALES APEÑA

Asesor: **Mag. HENRRY ÁNGEL GARRIDO ANGULO**

HUARAZ –PERÚ

2017

Nº. Registro: T0523

MIEMBROS DEL JURADO

Doctor Alexander Pacheco Castillo

Presidente

Magister José Baltazar Silva Adanaque

Secretario

Magister Henry Ángel Garrido Angulo

Vocal

ASESOR

Maestro Henry Ángel Garrido Angulo

AGRADECIMIENTO

- *A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*
- *A mi madre Rosa María Apeña Alvarado, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti.*
- *A mi padre por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.*
- *A mi esposa María Aquino López y a mi hijo Thiago Jesús Rosales Aquino Por ser los pilares fundamentales en mi vida y haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.*

Esta tesis es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo. Por ello agradezco al MSc. Henry Ángel Garrido Angulo, quien de este tiempo ha puesto a prueba su capacidad y su conocimiento en el desarrollo de esta tesis el cual ha finalizado llenando todas nuestras expectativas. A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

ÍNDICE

	Página
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	4
Hipótesis	4
Variables	5
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Bases teóricas	9
Teoria de toma de decisión	9
Teoria de decisión multicriterio	12
Teoria de decisión multicriterio discreta	15
Relaciones de preferencia	23
Relaciones de superación	28
La Metodología PROMETHEE	30
2.3. Definición de términos	37
III. METODOLOGIA	39
3.1. Tipo de investigación	39
3.2. Plan de recolección de la información	39
3.3. Instrumentos de recolección de la información	40
3.4. Plan de procesamiento y análisis de la información	40

IV. RESULTADOS	41
V. DISCUSIÓN	64
VI. CONCLUSIONES	66
VII. RECOMENDACIONES	68
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

RESUMEN

El propósito fundamental de la presente investigación fue desarrollar la metodología PROMETHEE y comparar los métodos PROMETHEE I y II en la búsqueda de la solución del problema de decisión multicriterio siendo las relaciones de superación y el concepto del pseudocriterio las herramientas indispensables en la toma de decisiones. Investigación de tipo exploratoria, descriptiva y aplicada.

Se presentan los resultados del caso aplicativo práctico relacionado a la selección-evaluación de proyectos de investigación en la UNASAM, y esto ahora permite incorporar como una buena alternativa, realizar una mejor manera de evaluar y seleccionar proyectos con el establecimiento de criterios afines para tal fin.

Se concluye que los métodos promethee I y II actúan secuencialmente para resolver el problema de decisión multicriterio, una primera etapa de ordenación parcial de las alternativas y la segunda en una ordenación total de las mismas. la manera comparativa, no se entiende en el sentido que resuelvan el problema de decisión multicriterio discreta independientemente, sino de manera complementaria, de un ordenamiento parcial a un ordenamiento total.

Palabras clave: Decisión multicriterio discreta, relación de superación, relación de preferencia, metodología Promethee.

ABSTRACT

The main purpose of this investigation was to develop PROMETHEE methodology and compare PROMETHEE I and II looking for the solution of this multicriterial decision problem, having as indispensables tools to overcoming relations and pseudocriterio concept in decisions making.

In this project I introduce the results of the practical application case related to the selection-evaluation of research projects at UNASAM are presented, and this now allows to incorporate as a good alternative, to perform a better way to evaluate and select projects with the establishment of related criteria for this purpose.

To conclude, I want to say that the promethee I and II methods act sequentially to solve the multicriteria decision problem, a first stage of partial ordering of the alternatives and the second one in a total ordering of the same. The comparative way, is not understood in the sense that they solve the problem of discrete multicriteria decision independently, but in a complementary way, from a partial ordering to a total ordering.

Keywords: Discrete multicriteria decision theory, overcoming relationship, preference relationship, PROMETHEE methodology.

I. INTRODUCCIÓN

En el marco de un ambiente competitivo que experimentan las organizaciones en general, ya sea de manera personal u organizacional, el ser humano se encuentra en permanente situaciones problemáticas, las cuales pueden ser tan simples como complejas. En realidad, por naturaleza propia de la vida misma, el ser humano siempre está inmerso al carácter problemático de su existencia como razón de ser y de su existir. Interesa en ésta investigación la relación directa con las organizaciones humanas y su aspecto problemático, resultado de sus actividades que desarrollo. Estas organizaciones, públicas como privadas, cumplen una actividad específica, ya sea de tipo económica, académica, de la industria, agricultura, de gestión, entre otras; éstas a su vez afrontan a menudo un amplio número de diferentes casos problemáticos; un conjunto de ellos tiene especial atención en esta investigación. El énfasis va en el sentido siguiente, por una parte, un problema pudo haber sido planteado y resuelto, de tal modo que ya cuenta por ello con un conjunto disponible de soluciones, y no se conoce las implicancias o consecuencias que tendrán el elegir una u otra solución al problema y, por otra parte, se tiene un problema que debe ser resuelta para encontrar sus soluciones como es usual; ambas situaciones llevan a las siguientes cuestiones, ¿de qué manera o cómo procedemos ante un conjunto de soluciones de un problema?, ¿a qué lleva elegir una u otra solución al ser seleccionada, y más aún si sometemos a cada una de ellas a una evaluación según un conjunto de criterios determinados, o más aún, si ponderamos los criterios dado que no siempre todos ellos tienen las mismas prioridades?; de ese modo surge entonces, en realidad, un nuevo problema no siempre percibido por la mayoría, que se enmarca en el problema de toma de

decisión o problema de decisión multicriterio. Aquí se debe elegir y decidir, la mejor de las soluciones para el problema y al cual se puede aplicar un número de metodologías relativamente nuevas.

Todo este enfoque a nivel de la investigación científica, permite a la ciencia matemática intervenir en un campo especial de estudio denominado, el problema de decisiones multicriterio, en especial las que son de tipo discreta. La formulación del problema puede resultar simple, pero la tarea de resolverlo no resulta ser inmediata ni sencilla, sino, delicada y compleja, pues se debe elegir de entre las soluciones del problema, la mejor o las mejores de ellas, éstas son llamadas también acciones o alternativas disponibles, evidentemente sujetas a un número, racionalmente, finito de criterios previamente establecidos, se forma una tabla denominada matriz de evaluación alternativas-criterios, resultado de haber sido evaluado cada una de las alternativas según los criterios establecidos. Una buena o mala elección de las alternativas puede tener fuertes implicancias trascendentes en el resultado final del problema, y es en ese sentido, reflexionar la importancia del estudio de esta metodología denominada PROMETHEE que contribuye a resolver diversas situaciones problemáticas generadas usualmente en organizaciones humanas, por tanto, permite obtener resultados decisionales satisfactorios y eficientes para los decisores e interesados.

La metodología PROMETHEE, es una herramienta matemática que a través de sus propios métodos permite encontrar la solución en problemas de decisión multicriterio. Asimismo, ésta metodología es validada en un caso de aplicación práctica, relacionado al problema de selección de proyectos de investigación en la UNASAM.

El resultado en el uso de la metodología PROMETHEE, consiste en determinar un ordenamiento y una escala de jerarquización de los elementos-alternativas intervinientes en el problema y que, mediante un análisis de estudio conlleva a que las alternativas disponibles como soluciones del problema tengan una priorización entre ellas. De ese modo, se afirma que constituye una ayuda decisional de relevancia, de estudio, de análisis y evaluación vigente y también exigente en un amplio conjunto de actividades que relacionan los diversos campos de investigación.

En base a la información recogida en la literatura científica y afín del área de estudio y sujeta al nivel de complejidad con que se quiera abordar los problemas de decisión multicriterio se hace necesario ordenar los conceptos y proponer la presentación de ésta metodología, poniendo énfasis en dos de sus varios métodos, PROMETHEE I y PROMETHEE II, revisando algunos temas preliminares de modo general, como es, la teoría de toma de decisiones, la teoría de decisión multicriterio, la teoría de decisión multicriterio discreta, las relaciones de preferencia, las relaciones de superación, la metodología PROMETHEE y sus dos métodos de estudio, y finalmente el caso de estudio como aplicación real y práctica, referida a la selección de proyectos de investigación en ciencia aplicada con financiamiento de recursos de canon, sobrecanon y regalías mineras 2014, y la selección de proyectos de investigación docente con financiamiento de recursos ordinarios 2016 y que la Oficina General de Investigación, de entonces, actualmente denominada Dirección General de Investigación de la UNASAM llevó a cabo.

El problema de la investigación se formula de la siguiente manera:

¿De qué manera se aplica el estudio comparativo de los métodos PROMETHEE I y PROMETHEE II, que permita resolver el problema de decisión multicriterio discreta constituyendo así una herramienta de ayuda en la toma de decisiones?

1.1 OBJETIVOS

GENERAL

Comparar los métodos PROMETHEE I y II de tal modo que permita resolver el problema de decisión multicriterio discreta.

ESPECÍFICOS

- ✓ Analizar la metodología PROMETHEE basados en PROMETHEE I y II como métodos de solución al problema de decisión multicriterio discreta.
- ✓ Evaluar comparativamente PROMETHEE I y II como métodos de solución al problema de decisión multicriterio discreta.
- ✓ Aplicar en un caso práctico, PROMETHEE I y II como métodos de solución al problema de decisión multicriterio discreta.

1.2 HIPÓTESIS

La metodología PROMETHEE resuelve el problema de decisión multicriterio discreta a través del estudio comparativo de los métodos PROMETHEE I y PROMETHEE II.

1.3 VARIABLES

El problema de decisión multicriterio discreta permite establecer las siguientes variables:

Variables Independientes:

- Las alternativas disponibles y criterios establecidos que determinan la matriz decisional o de evaluación de las alternativas sujetos a los criterios.

Variables Dependientes:

- Los métodos PROMETHEE I y PROMETHEE II

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

A través de las diversas organizaciones humanas se plantean diversas situaciones problemáticas, ya sea simples como complejas, y que de modo racional, se entiende de ellas en un número finito, deben ser consistentes, y resueltos naturalmente por diversas metodologías. Los problemas en su mayoría e importantes si mejor son organizacionales, pero incluso personales, están comprendidos en tan diversos y variados campos de estudio. De las diversas metodologías existentes, o mejor dicho, gran parte de ellas se conciben en la ciencia matemática, siempre que exista la certeza de la consistencia resolutive del problema, la tarea es buscar y encontrar las soluciones, que puede ser única, y que usualmente es lo deseable; o también, un número finito o infinito de soluciones posibles en otros casos, todas éstas como soluciones alternativas válidas para un problema. Bajo este último contexto, es cuando toma sentido, el problema de decisión o de decidir cuáles de las soluciones alternativas, en número finito, se debe elegir, y más, si aún pueden estar sujetas a criterios establecidos, en número finito, o demandantes o exigidas por la organización o interesados, dando nacimiento al problema decisional discreta, formulado esto, se hace necesario entonces tomar una decisión, una acción, una alternativa en base a todas las alternativas de solución disponibles. Esto justifica enormemente la investigación propuesta, y resalta la gran importancia de estudiar esta metodología PROMETHEE constituyendo así una herramienta de ayuda a la teoría de toma de decisión.

Se ha generado un creciente número de aplicaciones con una amplia variedad de casos, originando el planteo y solución de diversos métodos de solución para los problemas de decisión multicriterio discreta. El problema multicriterio discreta, por ejemplo, formula el problema de la elección entre un número finito de alternativas posibles (proyectos, candidatos, ubicación de servicios, rutas, etc.), que permite tener una ayuda efectiva en la práctica para la toma de decisiones de las organizaciones. El problema multicriterio discreta es un campo destinado principalmente a los gestores y decisores a fin de que sea de utilidad para sus responsabilidades profesionales.

Hoy en día la cultura científica privilegia la noción de la “mejor decisión”, y sin embargo, en el problema multicriterio discreta, el óptimo, en el sentido estricto del término, no existe, ni por tanto en la inmensa mayoría de las situaciones reales de decisión planteadas.

Por tal razón el estudio está orientado a contribuir al fortalecimiento de las herramientas de toma de decisiones en las organizaciones y lograr con ello una mejora en la eficiencia de la prestación de servicios, y a la larga generar también beneficios económicos.

Dado el imperante incremento de problemas que se generan en las organizaciones, en contraposición a éstas circunstancias, precisamente en este campo es donde se reflejan las mayores deficiencias en cuanto a la interpretación de la solución de los problemas en las organizaciones.

Actualmente existen diversos trabajos de investigación relacionados al problema de decisión multicriterio discreta resueltos con la metodología PROMETHEE, por ejemplo, es el caso de Mladineo et al. (1987), quién aplicó el método

PROMETHEE en el ordenamiento de alternativas de localización para una pequeña escala de hidroplantas, y que fue apropiado para el periodo de planificación del problema resuelto cuando no existen suficientes datos ni medio financieros para su realización, siendo el principal objetivo de este estudio la selección de las mejores localizaciones para ser más adelante analizadas y estimadas su eficiencia económica sin un periodo de tiempo dado.

Briggs et al. (1990) utilizó PROMETHEE a un problema relacionado a la gestión de desechos nucleares, un número bastante grande de escenarios fueron prevenidos, los cuales tuvieron que ser evaluados contra un número pequeño de criterio fuertemente conflictivos; en este estudio se mostró que la metodología puede ayudar a escoger opciones de políticas alternativas tomando en cuenta la descripción y el soporte del proceso de toma de decisión.

Waub et al. (2000) aplicó PROMETHEE para comparar escenarios forestales a partir de una planificación estratégica en Quebec, Canadá, siendo el objetivo desarrollar un conjunto de herramientas diseñadas para guiar las decisiones de los gestores forestales como una manera de mejorar la sostenibilidad forestal.

Martin, St-Onge (1997) utilizó el procedimiento de toma de decisión de PROMETHEE, para un proceso de negociación en un ambiente colaborativo y servicio con participación de aseguradores.

Hermans y Erickson (2004) evaluaron dos casos de estudio en el Noreste de Norte América, relacionados a la gestión de recursos forestales e hídricos, e incluso evaluaron otro caso sobre direccionando los cambios en el uso de tierras y recursos hídricos con opciones políticas. En cada caso, PROMETHEE fue

utilizado para ayudar a los aseguradores en la negociación de compromisos alcanzando decisiones operativas de mejora.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 TEORÍA DE TOMA DE DECISIONES

Introducción

El nacimiento de la teoría de toma de decisiones significó una revolución en la ciencia, y que tuvo lugar en parte en el campo de la ciencia matemática; contribuyó en un uso satisfactorio como herramienta fundamental en el estudio de los seres humanos – sus comportamientos, valores, interacciones, conflictos, organizaciones, repartos equitativos y toma decisiones, así como en su relación con la tecnología moderna y con las organizaciones complejas. Esta revolución, con el transcurrir del tiempo, está teniendo un alcance tan grande como el giro de la matemática hacia el estudio de los objetos físicos y su movimiento hace tres siglos. En particular, la teoría de toma de decisiones se ve influenciada profundamente por la matemática moderna y el saber, que varias áreas de la matemática se han creado primordialmente para ayudar a la correcta toma de decisiones y de la gestión en las organizaciones. Muchos aspectos involucrados en llegar a una decisión son, por supuesto, de una naturaleza no cuantitativa. Estos pueden referirse a la historia, experiencia previa, instinto, juicio, moralidad, etc. Resultado de esto, con frecuencia se habla de la toma de decisiones como un arte en vez de una ciencia. No obstante, muchos elementos en la teoría de toma de decisiones moderna son de naturaleza matemática, y actualmente se puede ver incluso esta actividad

como una rama científica. Es sabido que, quien toma una decisión empieza haciendo una lista de las opciones sobre las que tiene algún control y de los resultados probables de estas elecciones. Puede intentar identificar todas las variables y las relaciones entre ellas, y asociar con ellas medidas cuantitativas cuando sea posible. Asimismo, el decisor ha de clarificar sus propios valores, identificar los objetivos deseados, e identificar de forma explícita cualquier restricción social o de recursos. Se busca, entonces, el mejor resultado posible. Normalmente, la situación se complica cuando existe una gran variedad de distintas incógnitas relacionadas con los datos y las previsiones que no se pueden resolver por completo con antelación. Hay que predecir el efecto que las decisiones de otras personas puedan tener sobre el resultado, y las mejores respuestas que puedan darse a sus acciones. Finalmente, quienes toman las decisiones han de estudiar el contexto social y político, otras veces, el contexto económico y ambiental en el que se implementará la decisión.

Antes de elegir que hacer, es importante analizar todas las alternativas posibles de solución al problema, así como tener en cuenta el efecto de cada alternativa, previniendo las consecuencias negativas y positivas. Por tanto, queda demostrado en la actualidad la importancia de contar con un procedimiento multicriterio basado en herramientas matemáticas de teoría de decisiones en el proceso de estudio. La utilización de las técnicas matemáticas para la toma de decisiones es una herramienta potente para la eficacia de la gestión decisonal.

2.2.1.1 La toma de decisiones

La toma de decisiones consiste principalmente de escoger entre varias alternativas la más conveniente, aunque a decir de *Drucker* (2010): “Una decisión rara vez es una elección entre lo correcto y lo incorrecto. En el mejor de los casos es una elección entre lo que probablemente es correcto y lo que probablemente no lo es... o sea significa correr un riesgo... cuanto más importante es un trabajo, mayores son los riesgos que hay que correr. No se trata de suprimirlos, sino asumir los que sean razonables”; *Simon* (1960), menciona que la toma de decisiones es un proceso de elección entre cursos alternativos de acción, basado en un conjunto de criterios, para alcanzar uno o más objetivos; *Toskano* (2000), considera que es el término que generalmente se asocia con las primeras cinco etapas del proceso de resolución de problemas. Así, la toma de decisiones se inicia al identificar y definir el problema, y termina con la elección de una alternativa, que es el acto de tomar una decisión.

En la toma de decisiones están implícitas las distintas alternativas o acciones que pueden ser tomadas por el decisor y que constituyen las variables controladas en el proceso. El problema del decisor es evaluar las distintas alternativas y seleccionar la mejor de acuerdo al objetivo trazado.

Rodríguez (2001) menciona que, “Tomar decisiones es tanto un arte como una ciencia”, y precisa algunos elementos básicos que de no ser cumplidos se corre el riesgo de caer en ciertos fallos que alteran el valor, la calidad y la credibilidad de la decisión. Algunas estrategias básicas de tomar en cuenta en el tema decisional pueden consistir de:

- No utilizar de una información errónea, desactualizada, o irrelevante.
- No utilizar de una muestra mal seleccionada para desarrollar el proceso de análisis.
- No dejarse influir por prejuicios o sentimientos ocultos.
- No absolutizar la importancia de los promedios, ignorando el valor de los valores extremos.
- No asumir una interpretación y/o conclusiones equívocas.
- No analizar efectuando solo un único prisma en relación con la posición social, económica o administrativa.
- No absolutizar la certeza cuando se está en presencia de incertidumbre.

2.2.2 LA TEORÍA DE DECISIÓN MULTICRITERIO

Introducción

La teoría de decisión multicriterio, en general, llamado también a veces optimización multicriterio o vectorial corresponde a una clase especial de técnicas de optimización matemática con restricciones o sin restricciones, donde existe más de un objetivo: los objetivos requieren ser optimizados, en teoría; y están sujetos a las mismas restricciones que acotan su solución.

No existe un óptimo en sentido estricto sino un “óptimo de Pareto”, que significa ser una solución eficiente, o mejor dicho, una solución satisfactoria o de compromiso. En las decisiones multicriterio, el decisor se encuentra en posibilidad de escoger entre varias alternativas, el conjunto de las cuales constituye el llamado conjunto de elección. Para escoger en este conjunto de elección, el decisor tiene diversos puntos de vista o criterios, los cuales son, al

menos parcialmente, contradictorios en el sentido de que si el decisor adopta uno de dichos puntos de vista, por ejemplo la minimización del riesgo, no escogerá la misma alternativa que si se basa en otro criterio, por ejemplo el de mejor rendimiento, ya no es posible ignorar que cada decisión real consiste de hecho en un compromiso entre diversas soluciones, cada una con sus ventajas y sus inconvenientes, dependiendo de la posición que se adopte.

Las decisiones multicriterio es un campo destinado principalmente a los gestores decisionales en organizaciones humanas, a fin de que sea de utilidad para sus responsabilidades profesionales; se ha convertido en una de las teorías de soporte y de más trascendencia e influencia del análisis multicriterio que viene fortaleciéndose más y más en el día a día con los problemas que se plantean; esto ha conllevado a profundizar y seguir desarrollando incluso nuevas teorías o metodologías. A la actualidad, se va intensificando la fundamentación matemática de la teoría de decisión multicriterio, fortaleciendo por tanto la teoría de optimización gracias al aporte de importantes propiedades matemáticas.

2.2.2.1 Apuntes Históricos de la Teoría de Decisión Multicriterio

Desde un punto de vista del avance de la ciencia, las investigaciones económicas de principios del siglo XX fueron una de las fuentes de inspiración de la teoría de decisión multicriterio. Por aquella época los economistas iniciaron la búsqueda de las relaciones entre el comportamiento de los agentes económicos y la economía en general. Uno de los elementos básicos de tal comportamiento, tanto del productor como del consumidor, reside en la forma en la que efectúan sus elecciones, sean de consumo o de

producción, siendo principalmente algunos de los precursores *Walras*, *Cournot* y *Pareto*.

En la década de los años 60, *Pareto*, economista y sociólogo al igual que *Walras* y *Cournot* estudiaron aquellas situaciones económicas en las que varios agentes realizan elecciones diferentes y a menudo en conflicto. Ellos mostraron que no todos los agentes podían obtener su satisfacción máxima al mismo tiempo, cuando los recursos son escasos, lo que gana uno es de alguna manera obtenido en detrimento de otro. Una situación tal, en la que los agentes no pueden mejorar su satisfacción todos a la vez se denominó un óptimo de Pareto.

En 1970, ocurrió en la Haya (Holanda), en el marco del séptimo congreso de programación matemática, la primera reunión científica consagrada a la teoría de decisión multicriterio.

En 1972, se llevó a cabo el primer congreso, enteramente dedicada a la MCDM (Multiple Criteria Decision Making), realizado en la Universidad de Columbia en Carolina del Sur (EE.UU), organizado especialmente por los científicos *Cochrane* y *Zeleny*. Asimismo en aquel congreso, la reflexión en torno a la decisión multicriterio estuvo dominada por las discusiones sobre la aditividad de las preferencias, cuyos primeros hitos ya los había marcado *Leontief* (1947), *Debreu* (1960), *Fisburn* (1965 y 1970) y otros que aportaron pronto a los primeros resultados verdaderamente formalizados en este campo.

2.2.2.2 La Teoría de Decisión Multicriterio

En la optimización matemática, la teoría de decisión multicriterio tiene gran potencialidad cuando el contexto decisional está definido por una serie de

objetivos a optimizar y que deben de satisfacer un determinado conjunto de restricciones. Como la optimización simultánea de todos los objetivos es usualmente imposible, pues en la vida real entre los objetivos que pretende optimizar un decisor, suele existir un cierto grado de conflicto al enfoque multicriterio en vez de intentar determinar un óptimo existente pretende establecer el conjunto de soluciones eficientes o pareto óptimas.

2.2.3 LA TEORÍA DE DECISIÓN MULTICRITERIO DISCRETA

Introducción

La teoría de decisión multicriterio discreta se individualiza con su propia terminología y su problemática aplicada de seleccionar una alternativa en presencia de criterios múltiples a finales de los años 60 e inicios de los años 70. En esa misma época, un equipo de investigadores de problemas multicriterios denominado SEMA, encuentra un método asociado a la decisión multicriterio discreta: el ELECTRE (Roy, 1968).

La escuela francesa conformada principalmente por *Brans, Jacquet-Lagréze, Roy, Rouvens, Vansnick y Vincke*, en el año 1980, exploraron ampliamente el problema multicriterio discreto, incorporaron el concepto de las relaciones de superación y las relaciones de preferencias del decisor.

Hoy en día, la decisión multicriterio discreta es considerada como un campo de actividad en el que la aplicabilidad práctica y las herramientas informáticas ya son dominantes. Ciertamente que las investigaciones teóricas no están desprovistas de interés, pero suelen dedicarse más a la profundización que a los fundamentos. Por el contrario, las posibilidades informáticas no han sido aun totalmente exploradas, incluso se puede afirmar que la utilización

efectiva de los métodos multicriterio en contextos profesionales no ha hecho más que comenzar.

2.2.3.1 El Paradigma de la Teoría de Decisión Multicriterio Discreta

Dentro de la estructura del paradigma de la decisión multicriterio discreta se deben conceptualizar necesariamente un conjunto de elementos indispensables para el desarrollo de este campo. Estos son:

Atributo.- Son los valores con los que el decisor se enfrenta a un determinado problema decisional y están relacionados con una realidad objetiva. Los atributos pueden ser competitivos o contradictorios entre sí.

Objetivos.- Son direcciones de mejora de los atributos que se estén considerando. La mejora puede interpretarse en el sentido “más del atributo mejor” o bien “menos del atributo mejor”.

Criterios.- Los criterios constituyen los atributos y objetivos que se consideran relevantes para un cierto problema decisional. Un criterio expresa, con mayor o menor precisión, las preferencias del decisor respecto a un cierto atributo y son de carácter cuantitativos como cualitativos.

Conjunto de Elección.- Es el conjunto de las alternativas usualmente dados en un número finito. Las alternativas son consideradas diferentes, excluyentes y exhaustivas.

Para la elección entre las alternativas del conjunto de elección, se supone que el decisor posee varios (al menos uno) ejes de evaluación. Estos ejes de evaluación son las características de las alternativas, por lo que serán llamados atributos. Cuando se añade a estos atributos un mínimo de

información relativa a las preferencias del decisor, los atributos se convierten en criterios.

De aquí se desprende dos tipos de evaluación en cuanto a los criterios. Ciertos atributos corresponden a evaluaciones numéricas, y por ello se califica como un criterio cuantitativo. Otras evaluaciones, sin embargo, no se efectúan naturalmente en una escala numérica, por tanto a los criterios para los que no existe una unidad canónica de medida se les llama criterios cualitativos y se debe establecer un sistema de preferencias sobre cada atributo.

Matriz de Decisión.- La matriz (a_{ij}) se llama la matriz de decisión, donde cada fila de esta matriz expresa las cualidades de la alternativa i con respecto a los n atributos considerados. Cada columna j recoge las evaluaciones, hechas por el decisor, de todas las alternativas con respecto al atributo. Es decir la matriz de decisión expresa las preferencias del decisor, capaz de dar para cada uno de los atributos considerados y para cada alternativa del conjunto de elección, un valor numérico o simbólico a_{ij} .

En muchas situaciones de la vida real surge la necesidad de plasmar en un modelo mediante la información disponible sobre un problema real, con el fin de facilitar una comunicación fluida de las ideas aportadas por las personas implicadas en la resolución del mismo.

Decisor.- Es el encargado de tomar la elección final una vez que conozca la información sobre las posibles combinaciones dadas en el problema.

2.2.3.2 El Problema de Decisión Multicriterio Discreta

Introducción

Un problema de decisión multicriterio discreta es, cuando existen al menos dos criterios en conflicto y al menos dos alternativas de solución, siendo la decisión el resultado de un compromiso entre todos ellos, la cual produzca el mejor resultado. Las alternativas de solución hay que evaluarlas y de acuerdo con *Artola (2002)*, “la evaluación desde el punto de vista matemático se caracteriza por tener múltiples criterios generalmente en conflicto por el grado de desigualdad de desarrollo en que estos suelen encontrarse suscitándose un problema multicriterio”.

Los problemas de decisión multicriterio de tipo discreto son aquellos en los que el conjunto de alternativas a considerar por parte del decisor es finito y normalmente no muy elevado. El interés práctico de los problemas multicriterio discreta resulta evidente. Así pues existen multitud de contextos de decisión en los que un número reducido de alternativas o elecciones posibles deben evaluarse en base a atributos.

Un problema en general de decisión multicriterio discreta consiste en seleccionar lo mejor entre lo posible.

2.2.3.3 Conceptos Matemáticos Básicos en la Teoría de Decisión Multicriterio

Relaciones Binarias

Definición 1.- Una relación binaria sobre un conjunto X es una partición del conjunto $X \times X$ de pares ordenados. La partición genera dos subconjuntos de $X \times X$.

Sea \mathcal{R} el subconjunto de los pares que están en la relación, $\mathcal{R}^- = X \times X - \mathcal{R}$ es el subconjunto de los pares que no están en la relación.

Cuando (a,b) está en \mathcal{R} , se escribe $a\mathcal{R}b$, es decir que a y b están en la relación \mathcal{R} . Los pares de \mathcal{R}^- son los que no están en dicha relación.

Definición 2.- Las relaciones binarias cumplen con las siguientes propiedades:

Reflexiva

Se dice que una relación binaria \mathcal{R} es reflexiva, si para todo a en X se tiene que (a,a) está en \mathcal{R} , es decir $a\mathcal{R}a$.

Irreflexiva

Se dice que una relación binaria \mathcal{R} es irreflexiva, si para todo a en X se tiene que (a,a) no está en \mathcal{R} , es decir no $a\mathcal{R}a$.

Simetría

Se dice que una relación binaria \mathcal{R} es simétrica, si (a,b) está en \mathcal{R} , supone que también (b,a) está en \mathcal{R} , es decir, si $a\mathcal{R}b$ entonces $b\mathcal{R}a$.

Asimetría

Se dice que una relación binaria \mathcal{R} es asimétrica, si siempre que (a,b) está en \mathcal{R} , entonces (b,a) está en \mathcal{R}^- , es decir, si $a\mathcal{R}b$ entonces no $b\mathcal{R}a$.

Transitividad

Se dice que una relación binaria \mathcal{R} es transitiva, si (a,b) está en \mathcal{R} y (b,c) está en \mathcal{R} , implica que (a,c) está en \mathcal{R} , es decir, si $a\mathcal{R}b$ y $b\mathcal{R}c$ entonces $a\mathcal{R}c$.

Definición 3.- Se dice que:

Una relación binaria \mathcal{R} es de preorden, cuando es reflexiva y transitiva.

Una relación binaria \mathcal{R} es de orden, cuando es irreflexiva y transitiva.

Una relación binaria \mathcal{R} es una relación de equivalencia, cuando es reflexiva, simétrica y transitiva.

Definición 4.- Se dice que una relación binaria \mathcal{R} sobre X es total (completa) si para todo par (x, y) de $X \times X$ se tiene que, o bien $x \mathcal{R} y$, o bien $y \mathcal{R} x$.

Por el contrario, una relación que no posea esta propiedad se dice que es parcial.

Análisis Convexo

Definición 5.- Una norma en un espacio vectorial real V , es una función real $x \in V \rightarrow \|x\| \in \mathbb{R}$ definida en V , tal que, cualesquiera que sean $x, y \in V$ y para todo $\lambda \in \mathbb{R}$, se cumple:

- $\|x\| \geq 0$ (positividad)
- $\|x + y\| \leq \|x\| + \|y\|$ (desigualdad triangular)
- $\|\lambda x\| = |\lambda| \|x\|$ (homogeneidad)
- $\|x\| = 0$ si y sólo si $x = 0$ (separación)

El número $\|x\|$ se llama la norma del vector x .

Definición 6.- Un espacio normado es el par $(V, \|\cdot\|)$, donde V es un espacio vectorial y $\|\cdot\|$ es una norma en V .

Ejemplo. Si en el espacio vectorial real \mathbb{R}^n cuyos elementos son

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

y si se toma $\|x\| = \left(\sum_{k=1}^n x_k^2 \right)^{\frac{1}{2}}$, se comprueban todos los axiomas de la norma, y

es equivalente a la métrica $d(x, y) = \|x - y\| = \left(\sum_{k=1}^n (x_k - y_k)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$

Definición 7.- La normalización de los criterios, es esencial por las siguientes razones:

- En primer lugar, se debe tener en cuenta que en muchos problemas multicriterio, las unidades en que están medidos los diferentes criterios suelen ser diferentes. En este tipo de situación una comparación de los diferentes criterios carece de significado.
- En muchos casos, los decisores realizan con más facilidad las tareas comparativas entre criterios cuando trabajan con valores normalizados de los mismos, en vez de con sus correspondientes valores originales.

Definición 8.- Los métodos de normalización de vectores se determinan en base a los siguientes procedimientos:

Sea el vector $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ con $a_i \geq 0$, para obtener el vector normalizado

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_m).$$

- Procedimiento 1: $v_i = \frac{a_i}{\max.a_i}$
- Procedimiento 2: $v_i = \frac{a_i - \min.a_i}{\max.a_i - \min.a_i}$

➤ Procedimiento 3: $v_i = \frac{a_i}{\sum_i a_i}$

➤ Procedimiento 4: $v_i = \frac{a_i}{(\sum_i a_i^2)^{1/2}}$

2.2.3.4 Modelo Matemático del Problema de Decisión Multicriterio Discreta

Una buena parte de los problemas de decisión multicriterio tienen una naturaleza discreta; se deben tomar en cuenta diversos criterios, tales como tecnológicos, económicos, ambientales, sociales, entre otros.

La formulación del modelo matemático de un problema de decisión multicriterio discreta tiene la siguiente forma general:

$$Opt \{ g_1(a_i), g_2(a_i), \dots, g_j(a_i), \dots, g_n(a_i) / a_i \in A \}$$

Donde A es un conjunto finito de posibles alternativas:

$$\{ a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m \}$$

Sujeto a un conjunto de criterios de evaluación:

$$\{ g_1(a_i), g_2(a_i), \dots, g_j(a_i), \dots, g_n(a_i) \}$$

y a la siguiente matriz de decisión o de evaluación:

	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$...	$g_n(a_i)$
a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$...	$g_n(a_1)$
a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$...	$g_n(a_2)$
...
a_m	$g_1(a_m)$	$g_2(a_m)$...	$g_n(a_m)$

2.2.4 RELACIONES DE PREFERENCIA

Introducción

En las decisiones multicriterio, el decisor es el elemento que lleva la responsabilidad más difícil y riesgosa, ya que involucra la necesidad de evaluar alternativas y elegir, de entre todas las alternativas, aquella que mejor se adecue a los objetivos perseguidos, una mala decisión puede llegar a perjudicar los intereses de la organización en virtud de la cual la decisión es tomada, afectando al accionar de individuos, organizaciones, empresas e incluso países.

En otras palabras, el decisor es quien es capaz de elegir, cuando considera que dos alternativas de su conjunto de elección tienen una preferencia en relación a otra, o cuando incluso no se puede elegir a ninguno, es decir, puede ser indiferente entre las dos alternativas en cuestión.

2.2.4.1 Las Relaciones de Preferencia

Todo proceso de decisión involucra el acto de comparar. Cuando comparamos dos opciones o alternativas (a_i, a_k) , el resultado de la comparación puede ser uno de los siguientes enunciados (*Vincke*, 1992):

- “prefiero a_i que a_k ”
- “soy indiferente entre a_i y a_k ”
- “no puedo o no quiero comparar a_i y a_k ”

Formalmente, se adopta la siguiente simbología: $\forall a_i, a_k \in A$ **Definición**

9.- El decisor prefiere estrictamente a_i a a_k cuando su elección se efectúa sin ninguna duda sobre a_i , es decir:

$$\begin{cases} \forall j, g_j(a_i) \geq g_j(a_k) \\ \exists h, g_h(a_i) > g_h(a_k) \end{cases} \Leftrightarrow a_i P a_k$$

$a_i P a_k$: a_i es estrictamente preferido a a_k , $\forall j, g_j(a_i) = g_j(a_k)$

Definición 10.- El decisor es indiferente entre a_i y a_k cuando acepta indistintamente una alternativa frente a la otra, es decir:

$a_i I a_k$: a_i es indiferente con a_k

Definición 11.- El decisor no sabe si prefiere estrictamente a_i a a_k o si es indiferente entre las dos, es decir:

$$\begin{cases} \exists s, g_s(a_i) > g_s(a_k) \\ \exists r, g_r(a_i) < g_r(a_k) \end{cases} \Leftrightarrow a_i R a_k$$

$a_i R a_k$: a_i es incomparable con a_k

Los símbolos $P \succ$, $I \approx$ y $R \succeq$ representan respectivamente a lo que se conoce como “relaciones de preferencia o relaciones de dominancia”.

De este modo, se concluye la identificación de alternativas dominadas, indiferentes o incomparables entre sí. Las alternativas que no son dominadas se denominan soluciones o alternativas eficientes.

Sin embargo, la identificación de las alternativas eficientes no resuelve totalmente el problema decisional, ya que es imposible concluir sin alguna información acerca de sus preferencias.

Además, en la práctica puede ocurrir también que el decisor sea no capaz o rechace escoger entre dos alternativas, esto significa que las alternativas no son comparables.

Relaciones de orden

Definición 12.- Las relaciones \succ , \approx , \geq son relaciones binarias en el sentido de que relacionan dos alternativas del conjunto de elección A .

Racionalidad de las preferencias

Es necesario definir las hipótesis de racionalidad del decisor debido la metodología utiliza los pseudo criterios que permitirán hacer las comparaciones de las alternativas y los criterios.

Definición 13.- En lo sucesivo se entenderá como “*hipótesis fuertes de racionalidad del decisor*” a las hipótesis siguientes:

Las relaciones \approx y \succ son disjuntas.

La relación \approx es reflexiva y simétrica

La relación \succ es asimétrica.

La relación \geq es transitiva.

Proposición 1.- Bajo las hipótesis fuertes de racionalidad del decisor, la relación \succ es de orden, la relación \approx es de equivalencia y \geq es de preorden.

Proposición 2.- Sea un conjunto A provisto de una relación de preorden \mathcal{R} . Puede descomponerse entonces \mathcal{R} en una parte simétrica \approx y otra parte asimétrica \succ , tales que \approx sea una relación de equivalencia y \succ una relación de orden.

Definición 14.- Se dice que las preferencias \geq del decisor verifican las hipótesis débiles de racionalidad del decisor, si:

Las dos relaciones \prec y \approx son disjuntas.

La relación de indiferencia \approx es reflexiva y simétrica.

La relación de preferencia estricta \prec es asimétrica y transitiva.

Una estructura de preferencia que verifica las hipótesis débiles de racionalidad del decisor se denomina un cuasi-orden.

Funciones de utilidad

Definición 15.- Sea la relación \geq un preorden total sobre A . Se dice una función U de A en \mathcal{R} una *función de utilidad* que representa al preorden \geq si y solamente si: $x \geq y$ sí y sólo sí $U(x) \geq U(y)$.

Proposición 3.- Sea U una función de utilidad sobre A que representa al preorden parcial \geq . Se cumplen entonces las siguientes equivalencias:

$$x \succ y \text{ sí y sólo sí } U(x) > U(y)$$

$$x \approx y \text{ sí y sólo sí } U(x) = U(y)$$

Teorema 1.- Sea A un conjunto finito totalmente preordenado por \geq .

Entonces, el preorden está enteramente representado por una cadena de

elementos de la forma: $a_1 \geq a_2 \geq \dots \geq a_{m-1} \geq a_m$

Lema 1.- Sea un conjunto A preordenado por \geq . Entonces $x > y$ e $y = z$

implican $y > z$.

Observaciones:

1.- No siempre existe una función de utilidad que represente un preorden total cuando el conjunto de elección A es infinito.

2.- El preorden total en el plano es denominado “*preorden lexicográfico*” por coincidir con la ordenación de las palabras en un diccionario.

Funciones de utilidad ordinales y cardinales y evaluación de las alternativas

Funciones de utilidad ordinal

Definición 16.- Se dice que un decisor expresa una función de utilidad ordinal cuando no indica más que el orden y nada más.

Definición 17.- Se dice que un decisor expresa *preferencias cardinales intervalo, o cardinales sin más*, si puede comparar las diferencias de preferencias.

Es decir, una función de utilidad cardinal será pues una función que respeta las diferencias además del respetar el orden.

Definición 18.- Una función de utilidad U que representa el preorden total de un decisor es cardinal si, para cualquiera dos pares $(x \geq y)$ y $(a \geq b)$ en

la relación de preorden total, el cociente $\frac{[U(x)-U(y)]}{[U(a)-U(b)]}$ es un invariante

del decisor.

Definición 19.- Se dice que un decisor expresa preferencias cardinal ratio, si puede:

- i) Comparar las diferencias de preferencias; es decir, que si indica $(x > y)$ y $(a > b)$, puede asimismo afirmar que la diferencia entre x e y es igual, mayor o menor que la diferencia entre a y b .

- ii) Existe un elemento a de A que puede servir de referencia absoluta, y tal que para toda utilidad U es $U(a)=0$.

2.2.5 RELACIONES DE SUPERACIÓN

Introducción

Una característica importante en este tipo de relaciones, por que asocian las alternativas y criterios dados, es el mecanismo básico de las comparaciones binarias entre alternativas y entre criterios, obedeciendo el cumplimiento del principio del *Conde de Condorcet*.

Las relaciones de superación constituyen un amplio conjunto de resultados para el campo de la decisión multicriterio discreta, dados a conocer por *Bernard Roy*, pionero en las investigaciones de decisión multicriterio en la escuela europea junto a un grupo de investigadores franceses a mediados de los años 60.

Estas relaciones se basan en otras relaciones básicas denominadas relaciones de preferencias, las que hoy en día gozan de una amplia aceptación dentro del mundo de la decisión multicriterio discreta.

2.2.5.1 Las Relaciones de Superación

Definición 20.- Una alternativa a_i supera a otra alternativa a_k para los atributos considerados según *Condorcet* (1785): “cuando una alternativa a_i es “tan buena al menos” como otra a_k en “una mayoría” de los criterios, y no hay ningún criterio en el que a_i sea “notoriamente

inferior” a a_k , y de ese modo se puede afirmar sin riesgo que a_i supera a a_k ”. Esto lo simbolizamos así $a_i S a_k$.

Una relación de superación establece una relación de preorden, generalmente parcial en el conjunto de las alternativas no dominadas de un problema dado. La relación de superación depende en gran medida de los valores de los pesos w_j y de los umbrales definidos. La principal ventaja de la relación de superación es que en ella no subyace necesariamente el supuesto de transitividad de preferencias o de comparabilidad, que sí subyace a cualquier enfoque basado en funciones de utilidad. Así, si $a_1 S a_2$ y $a_2 S a_3$ (donde S representa la relación de superación), esto no implica necesariamente que $a_1 S a_3$.

Pseudocriterios

El concepto de pseudocriterio permite al decisor mostrar sus preferencias entre las alternativas. Para cada criterio $j, j = 1, 2, \dots, n$ se debe definir el umbral de indiferencia q_j y el umbral de preferencia p_j , suponiendo que $p_j > q_j$.

Los umbrales q y p permiten comparar las evaluaciones $U_j(a)$ y $U_j(b)$ de las alternativas a y b según el criterio j .

Definición 21.- La relación de preferencia \succ_j está dada por la siguiente relación: $a \succ_j b \Leftrightarrow U_j(a) > U_j(b) + p_j$

Definición 22.- La relación de preferencia \approx_j está dada por la siguiente relación: $a \approx_j b \Leftrightarrow U_j(b) - q_j \leq U_j(a) \leq U_j(b) + q_j$

Definición 23.- La relación de superación S_j asociada al criterio j está dada por todas las posibilidades de que a no sea estrictamente peor que b : $aS_jb \Leftrightarrow U_j(a) \geq U_j(b) - q_j$

2.2.6 LA METODOLOGÍA PROMETHEE

2.2.6.1 Breve Historia de la metodología PROMETHEE

Los elementos básicos de la metodología PROMETHEE fueron, primero, introducidos por el profesor *Jean-Pierre Brans* (CSOO, VUB Vrije Universiteit Brussel) en 1982 durante una conferencia organizado por *R. Nadeau* y *M. Landry* en la Université Laval, Quèbeq, Canadá (L'Ingènièrie de la Dècision. Elaboration d'instruments d'Aide à la Dècision). Años más tarde, el profesor *Jean-Pierre Brans* y el profesor *Bertrand Mareschal* (Solvay School of Economics and Management, ULB Université Libre de Bruxelles) desarrollaron e implementaron el método PROMETHEE III (ordenación basado en intervalos) y PROMETHEE IV (para el caso continuo). Los mismos autores propusieron en 1988 el módulo visual interactivo GAIA, que proporciona una magnífica representación gráfica de la metodología PROMETHEE. La descripción aproximada de GAIA permite al decisor visualizar las principales características del problema de decisión, y permite tener la facilidad de identificar los conflictos o sinergias entre criterios, e identificar los conjuntos de acciones o alternativas y las luces observables de mejoras.

En 1992 y 1994, *J.P. Brans* y *B. Mareschal* sugirieron dos extensiones más: PROMETHEE V (MCDA con restricciones de segmentación) y PROMETHEE VI (representación y simulación del cerebro humano). A lo largo del tiempo, ha habido un número considerable de aplicaciones exitosas de la metodología PROMETHEE en campos tan diversos como el de las Finanzas, Localización de industrias, Planificación de recursos humanos, Recursos hídricos, Inversión, Medicina, Química, Salud, Turismo, Ética, Dirección dinámica, El éxito de la metodología se debe, entre otras razones, a sus propiedades matemáticas y a su particular simplicidad, claridad y estabilidad en el uso por parte de los usuarios.

2.2.6.2 El Método PROMETHEE I y II

Introducción

El método PROMETHEE, está asociado a la Escuela Francesa: ELECTRE y PROMETHEE. El método PROMETHEE deriva del significado de **P**reference **R**anking **O**rganization **M**ETHod for **E**nrichment **E**valuation (Método Organizacional de Ordenamiento de las Preferencias para una Evaluación Eficiente) y, una de sus primeras aplicaciones ha sido en problemas de ubicación.

En el año 1960, *G. Davignon* hizo algunas aplicaciones utilizando esta metodología en el campo de la salud, éstas fueron la que dieron origen a distinguir el método PROMETHEE I (ordenación parcial) y el método PROMETHEE II (ordenación completa).

Esta metodología PROMETHEE está agrupada bajo la denominación común de los métodos de superación, dado que todos ellos giran en torno del concepto teórico de las relaciones de superación, no obstante existe entonces un conjunto de estos métodos discretos que se caracterizan porque son métodos de superación y tienen por objetivo proporcionar a los decisores, herramientas que les permitan resolver un problema donde existen varios objetivos, no homogéneos, y deben tomarse en cuenta, de acuerdo a sus preferencias. Es decir, estos métodos se aplican cuando el conjunto de alternativas que se considera es discreto y es factible enumerar y tratar explícitamente cada uno de las alternativas posibles.

2.2.6.3 El Método PROMETHEE

El método PROMETHEE, ideado por *Brans et al.*, 1984 como técnica y herramienta de decisión multicriterio, trata de establecer, mediante la evaluación en función de n criterios g_1, g_2, \dots, g_n , una ordenación jerarquizada en el conjunto de A alternativas.

Definición 24.- Sea un criterio j a maximizar, y dos alternativas $a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ y $a_k = (a_{k1}, a_{k2}, \dots, a_{kn})$ donde, $a_{ij} = U_j(a_i)$ con $a_{ij} \geq a_{kj}$ y sea $d_{ik} = a_{ij} - a_{kj}$, la función de preferencia relativa a j está dada por:

$$S_j(a_i, a_k) = S_j(d_{ik}) = \begin{cases} 0, & d_{ik} = 0 \\ 1, & d_{ik} > 0 \end{cases}, \text{ donde } d_{ik} = 0 \text{ es la relación de}$$

indiferencia y $d_{ik} > 0$ es la relación de preferencia estricta. Aquí

$S_j(d_{ik})$ es una función de $[0,1]$ en $\{0,1\}$.

Para determinar el ordenamiento parcial (PROMETHEE I) u ordenamiento completo (PROMETHEE II) entre las diferentes alternativas es necesario el cálculo de la matriz de índice de preferencia. Para calcular esta matriz es necesario conocer cuál es el criterio generalizado bajo el cual se evalúa cada uno de los criterios.

Criterio Generalizado

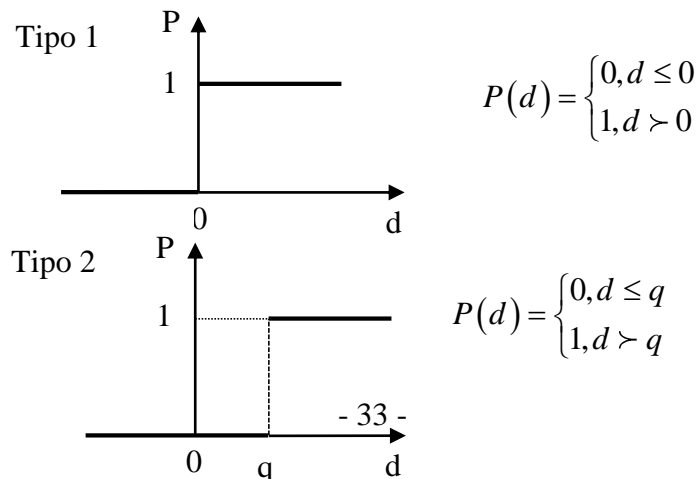
Definición 25.- Un criterio generalizado es una función de preferencia $P_j(a_i, a_k)$, que indica el grado de preferencia o de superación de a_i respecto de a_k , de forma tal que:

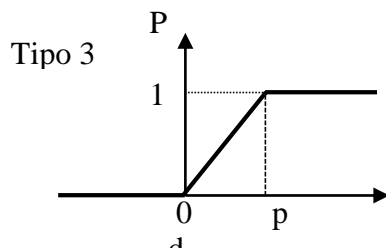
$$P_j(a_i, a_k) \approx P_j(d_j(a_i, a_k)) \quad \forall a_i, a_k \in A, \quad \text{donde}$$

$$d_j(a_i, a_k) \approx g_j(a_i) - g_j(a_k), \text{ siendo } 0 \leq d_j(a_i, a_k) \leq 1$$

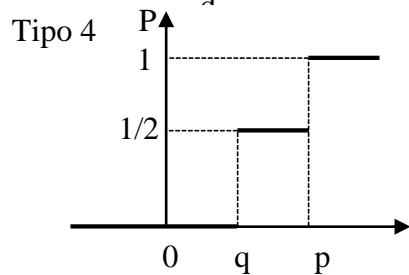
Entonces, el par $\{g_j(\cdot), P_j(\cdot, \cdot)\}$ se denomina criterio generalizado asociado al criterio $g_j(\cdot)$.

Existen seis tipos de criterios generalizados y están dados por:

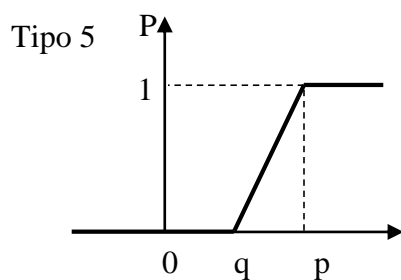




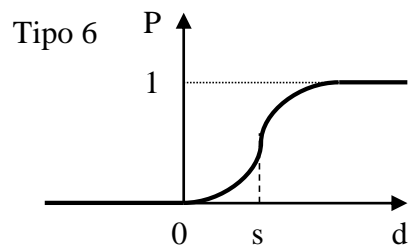
$$P(d) = \begin{cases} 0, d \leq 0 \\ \frac{d}{p}, 0 \leq d \leq p \\ 1, d > p \end{cases}$$



$$P(d) = \begin{cases} 0, d \leq 0 \\ \frac{1}{2}, 0 < d \leq q \\ 1, q < d \leq p \\ 0, d > p \end{cases}$$



$$P(d) = \begin{cases} 0, d \leq 0 \\ 0, 0 < d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q}, q < d \leq p \\ 1, d > p \end{cases}$$



$$P(d) = \begin{cases} 0, d \leq 0 \\ \frac{1}{1 + e^{-\frac{d-s}{s}}}, d > 0 \end{cases}$$

Algunas aclaraciones sobre la significancia de los tipos de criterios generalizados establecidos:

Criterio tipo I: no se requiere la definición de umbrales.

Criterio tipo II: debe definirse un umbral de indiferencia.

Criterio tipo III: debe definirse un umbral de preferencia.

Criterio tipo IV y V: requiere de la definición de dos umbrales, uno de indiferencia q y otro de preferencia p .

Criterio tipo VI: debe definirse un umbral s , normalmente comprendido entre q y p .

Definición 26.- El índice de preferencia c_{ik} , suponiendo que los pesos w_j son conocidos y están normalizados, está dado por:

$$c_{ik} = \sum_j w_j S_j(a_i, a_k) = \sum_j w_j S_j(d_{ik})$$

Proposición 4.- El índice de preferencia c_{ik} es nulo si y solamente si a_i es indiferente a a_k para todos los criterios; c_{ik} es igual a 1 si y solamente si a_i es estrictamente preferida a a_k para todos los criterios.

Definición 27.- Se denomina:

1) Flujo de orden saliente en a_i

$$\phi_{a_i}^+ = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} c_{a_i x}$$

2) Flujo de orden entrante en a_i

$$\phi_{a_i}^- = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} c_{x a_i}$$

3) Flujo neto en a_i

$$\phi_{a_i} = \phi_{a_i}^+ - \phi_{a_i}^-$$

Aclaraciones sobre los flujos de orden:

El flujo de orden saliente representa el carácter dominante de una alternativa, su poder dominador, por ello será mejor aquella alternativa que tenga mayor flujo de orden saliente.

El flujo de orden entrante representa la debilidad de una alternativa, en tanto es dominada por las demás, así será mejor aquella alternativa que tenga un flujo de orden entrante más pequeño.

Definición 28.- En el método PROMETHEE I, se debe entender que: a_i supera a a_k si y solo si:

$$\phi_{a_i}^+ > \phi_{a_k}^+ \text{ y } \phi_{a_i}^- < \phi_{a_k}^- \text{ o } \phi_{a_i}^+ > \phi_{a_k}^+ \text{ y } \phi_{a_i}^- = \phi_{a_k}^- \text{ o } \phi_{a_i}^+ = \phi_{a_k}^+ \text{ y } \phi_{a_i}^- < \phi_{a_k}^-$$

En cualquier otro caso a_i no supera a a_k .

En el método PROMETHEE II se hace uso del flujo neto $\phi = \phi^+ - \phi^-$.

Definición 29.- En el método PROMETHHE II, se debe entender que: a_i supera a a_k si y solo sí $\phi_{a_i} \geq \phi_{a_k}$.

2.2.6.4 Algoritmo del Método PROMETHEE

Paso 1.- Definición del criterio generalizado.

Esta fase requiere que a cada criterio g_j se le asocie un criterio generalizado $P_j(d_j(a_i, a_k))$, el cual valorará la preferencia de una alternativa a_i respecto a una a_k como una función de la diferencia entre evaluaciones $d_j(a_i, a_k) = g_j(a_i) - g_j(a_k)$

Paso 2.- Construcción del índice de preferencia multicriterio.

Consiste en calcular el índice de preferencia multicriterio dado por:

$$c_{a_i, a_k} = \sum_{j=1}^n w_j P_j(d_j(a_i, a_k))$$

Donde los pesos w_j son conocidos, están normalizados y cumple la

siguiente relación: $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

Paso 3.- Ordenación parcial de las alternativas.

Se calculan dos flujos de ordenación, el saliente y el entrante, que reflejan el grado en que una alternativa i domina o es dominada por las restantes.

Paso 4.- Ordenación total de las alternativas.

Para obtener una ordenación total de las alternativas se calcula el flujo neto.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

El uso de los siguientes términos se hace necesario en la presente investigación:

➤ **Modelo Matemático.** - Es la representación simbólica de relaciones matemáticas que involucran parámetros, variables y otros elementos necesarios a un problema dado teniendo como base alguna teoría de la ciencia matemática.

La construcción de un modelo es, en esencia, un proceso consistente en decidir cuáles son las características o aspectos de un problema o aplicación del mundo real y concreto que hay que representar para su estudio o análisis.

Un modelo matemático en general, nunca es idéntico al objeto en consideración, no reproduce todas sus propiedades y particularidades y

cuando se basa en la simplificación e idealización, es su reflejo aproximado.

- **Decisión Multicriterio.-** es la adquisición de destrezas relativas a la modelización matemática multicriterio mediante el estudio de modelos tipo y la consideración de varios objetivos.
- **Problema de Decisión Multicriterio Discreta.-** Toskano (2000), plantea que aquellos problemas en los que las alternativas de decisión son finitas se denominan Problemas de Decisiones Multicriterio Discreta.

III. METODOLOGIA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo exploratoria, descriptiva y aplicada en la cual se analiza la teoría de decisión multicriterio discreta, la metodología PROMETHEE, los métodos de solución PROMETHEE I y II, con una aplicación práctica relacionada a la selección de proyectos de investigación.

3.2. Plan de recolección de la información

En base al tema de estudio planteado, se elaboró el siguiente plan de recolección de datos:

- Revisión y análisis de las publicaciones relacionadas al tema y del enfoque de las diversas técnicas de solución al problema de decisión multicriterio discreta.
- Revisión de trabajos de investigación publicados referidos al problema de decisiones multicriterio discreta.
- Análisis del modelo matemático del problema de decisión multicriterio discreto.
- Estudio y análisis de los algoritmos de los métodos PROMETHEE I y II.
- Formulación del modelo matemático sobre la aplicación práctica como un problema de decisiones multicriterio discreta.
- Obtención de las soluciones en forma manual de la aplicación práctica sobre el caso de estudio planteado aplicando los métodos PROMETHEE I y II.

3.3. Instrumentos de recolección de la información

Los instrumentos que permitieron obtener información fueron:

- La bibliografía especializada, constituida por escasos libros y artículos publicados en revistas de investigación.
- Las páginas electrónicas de redes virtuales del área especializada.
- Las consultas a pocos investigadores con dominio en el tema, que permitió entender y despejar las cuestiones planteadas en la investigación.

3.4. Plan de procesamiento y análisis de la información

Una vez obtenida la información necesaria y suficiente del tema se analizó la metodología PROMETHEE, facilitando la comprensión del modelo matemático como problema de decisión multicriterio discreta.

Asimismo, se hizo el proceso manual sobre la aplicación práctica elegida como problema de decisión multicriterio discreta para obtener su solución mediante los métodos utilizados.

Plan de análisis de datos

Dispuesta la información del caso de estudio para su solución como problema de decisión multicriterio discreta, se formuló el modelo matemático y se procedió a obtener la solución del problema mediante los métodos PROMETHEE I y II.

IV. RESULTADOS

Aplicación Práctica 1: Metodología PROMETHEE

El proceso de convocatoria de concurso de selección de Proyectos de Investigación en Ciencia Aplicada con financiamiento de Recursos de Canon, Sobrecanon y Regalías, fue oficializada por las Autoridades de la Universidad mediante la Resolución de Consejo Universitario N° 335-2014 – UNASAM, de fecha 29 de agosto, 2014.

Las bases de selección estuvieron disponibles en el portal de la UNASAM, www.unasam.edu.pe en el enlace de la OGIyCT – Oficina General de Investigación y Cooperación Técnica (ahora, Dirección General de Investigación - DGI).

La presentación de los proyectos se hizo por trámite regular, es decir, presentación del expediente en mesa de partes de la UNASAM, los cuales fueron remitidos a la OGIyCT en donde se realizó el proceso de selección de los proyectos de investigación en ciencia aplicada.

Es pertinente observar que, el proceso de selección de los proyectos de investigación en ciencia aplicada que realiza la UNASAM no cuenta con una especificación conveniente de evaluación, y por ello desconocimiento de la aplicación de los métodos estudiados en el trabajo. Precisamente, resultado de esta investigación permitirá ofrecer una propuesta, el cual significará principalmente el aporte con la investigación, en relación a la selección de proyectos de investigación, queda por decisión de las autoridades, Vicerrectorado de

Investigación y DGI puedan ser implementados, sabiendo que esta metodología es una herramienta científica la cual entonces justifica su aplicación.

La información básica para la aplicación de la metodología mencionada, lo constituyen las acciones o alternativas y los criterios; las alternativas resultarán ser en este caso de aplicación práctica, los proyectos de investigación junto a su equipo investigador, y los criterios lo constituyen las exigencias que deben cumplir cada uno de los proyectos de investigación para ser seleccionados, y por tanto, ganadores de la convocatoria de proyectos de investigación en ciencia aplicada. Estos criterios básicos de selección de proyectos, coherentes a los fines de la investigación, son: Criterio 1: **Factibilidad**, Criterio 2: **Innovación**, Criterio 3: **Impacto**, Criterio 4: **Coherencia**, Criterio 5: **Concordancia**, y Criterio 6: **Originalidad**. La valoración de estos criterios se realiza con uso de formatos que cuenta la OGIyCT, y cuya aplicación está a cargo de un Jurado Evaluador.

A continuación, se lista la relación de los proyectos de investigación presentados al concurso 2014:

**IV CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA, FINANCIADO CON RECURSOS DE CANON 2014**

Tabla 1. Relación de proyectos presentados al concurso 2014

Número de Proyecto	Título del Proyecto	Investigador docente responsable del proyecto
1	Evaluación de las necesidades energéticas y evaluación de las alternativas de solución con energías renovables en el Callejón de Huaylas y Callejón de Conchucos de la región de Ancash	Dra. Myriam Soledad Figueroa Cruz – FC
2	Valoración Multicriterial optimizada del impacto ambiental en el área de influencia Pierina Ancash, 2014-2015, para el diseño de un modelo de convivencia sustentable	Dr. Julio Gregorio Poterico Huamayalli-FIMGM
3	Calidad de aminoácidos en biomasa de Candida Utilis obtenida del etanol y suero lácteo y deshidratado por ventana refractante	MSc. Norma Elizabeth Gamarra Ramírez - FIIA
4	Efecto del plasma frío sobre características fisicoquímicas y microbiológicas en frutas y especias	MSc. Fredy Aníbal Alvarado Zambrano – FIIA
5	Estrategias metodológicas y materiales didácticos para el desarrollo de la Educación Ambiental en la Comunidad Educativa del entorno del Parque Nacional y Reserva de Biosfera Huascarán	Dr. Rudecindo Albino Penadillo Lirio – FCSEC
6	Determinación de humedad, presencia de patógenos, metales pesados, nutrientes y olores en el compostaje de residuos sólidos urbanos, para la protección de la salud pública, en la ciudad de Huaraz, 2014-2015	Dr. Pedro Liberato Valladares Jara – FCAM

Una vez admitido los proyectos de investigación, se procede al proceso de selección.

Cada uno de los proyectos es programado en una Jornada de Investigación para ser evaluados por una terna de docentes investigadores especialistas que conforma

el Jurado Evaluador en las líneas de investigación que promueve el concurso y a los cuales han sido clasificados previamente cada una de los proyectos; se utiliza una valoración de escala centesimal según los seis criterios establecidos en el concurso de selección de proyectos docente 2014, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 2. Matriz de Evaluación de los proyectos de investigación presentados al concurso 2014

Nº de Proyecto	Criterio 1: FACTIBILIDAD	Criterio 2: INNOVACION	Criterio 3: IMPACTO	Criterio 4: COHERENCIA	Criterio 5: CONCORDANCIA	Criterio 6: ORIGINALIDAD
1	6.7	7.0	7.3	6.3	8.0	5.7
2	9.0	8.0	10.0	8.0	5.0	8.0
3	6.7	7.7	7.0	8.7	8.3	6.0
4	5.3	7.0	6.3	4.7	7.3	5.0
5	7.7	5.7	8.0	5.3	7.7	6.0
6	5.3	5.7	3.3	4.3	9.0	5.0
Pesos	5	8	8	7	5	10

Fuente: Oficina General de Investigación y Cooperación Técnica (OGIyCT)

Se consideran los criterios denotados con $j=1,2,3,4,5,6$, todos ellos a maximizar, y seis (06) alternativas o proyectos sujetas a la valoración obtenida

$$a_{ij} = g_j(a_i).$$

Ponderación de los criterios establecidos:

La ponderación que se establece para cada criterio dado, tiene la siguiente explicación:

Tomando como base la escala decimal, la ponderación para el criterio 6: sobre originalidad, se asignó un valor de 10, dado que se considera que un proyecto de

investigación original, con el conocimiento e innumerables investigaciones alrededor del mundo y con el nivel científico alcanzado, no debe resultar ser nada fácil a nivel de propuesta hacer una investigación; la ponderación para los criterios 2 y 3: sobre innovación e impacto, se asignó un valor de 8, esto explica que un proyecto de investigación que pretenda innovar y tener impacto implica trascendencia, y por ello justifica que debe tener un valor también considerable; la ponderación para el criterio 4: sobre coherencia, se asignó un valor de 7, esto explica que el proyecto de investigación debe ser consistente, tener una lógica y ordenamiento entre todas sus componentes; la ponderación para los criterios 1 y 5: sobre factibilidad y concordancia, se asignó un valor de 5, que explica que el proyecto de investigación deba tener viabilidad por sus objetivos y equipo de investigación, y concordancia con los fines y objetivos planteados.

Normalización de la matriz de evaluación de los proyectos

La normalización de los valores obtenidos en la tabla, incluyendo las ponderaciones de los pesos asignados a cada uno de los criterios mediante el vector de pesos o ponderación es el siguiente: $w=(5,8,8,7,5,10)$, indicando que la forma usual de normalización, corresponde al procedimiento n° 3:

Tabla 3. Normalización de las evaluaciones de los proyectos de investigación

Nº de Proyecto	Criterio 1: FACTIBILIDAD	Criterio 2: INNOVACION	Criterio 3: IMPACTO	Criterio 4: COHERENCIA	Criterio 5: CONCORDANCIA	Criterio 6: ORIGINALIDAD
1	0.16	0.13	0.17	0.17	0.15	0.16
2	0.22	0.19	0.24	0.21	0.10	0.22
3	0.16	0.19	0.17	0.23	0.16	0.17
4	0.13	0.13	0.15	0.13	0.14	0.14
5	0.19	0.14	0.19	0.14	0.15	0.17
6	0.13	0.14	0.08	0.13	0.17	0.14
Pesos	0.12	0.19	0.19	0.16	0.12	0.22

Algoritmo de la metodología PROMETHEE

Dado que la naturaleza de los criterios se orienta al propósito de ser maximizados, así como todos ellos convergen a validar la selección de los proyectos de investigación se ha utilizado un único criterio generalizado.

Paso 1. El criterio generalizado a utilizarse es el criterio tipo I que no requiere de umbrales.

$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1, & d > 0 \end{cases}$$

Paso 2. Los índices de preferencias se calculan con la siguiente relación:

$$c_{a_i a_k} = \sum_{j=1}^n w_j P_j(d_j(a_i, a_k))$$

y se forma la Matriz de Índices de Preferencia.

$$c_{ik} = c_{a_i a_k} = \sum_{j=1}^6 w_j P_j(d_j(a_i, a_k))$$

$$d_{ik} = d(a_k, a_i) = \left(\frac{1}{d}\right) \max_{j \in D(a_k, a_i)} (a_{kj}, a_{ij})$$

$$d = \max_j \max_{i,k} (a_{kj}, a_{ij})$$

$$D(a_k, a_i) = \{j/a_{ij} < a_{kj}\}$$

$$P_j(d_j(a_i, a_k)) = P_j(a_i, a_k) = \begin{cases} 0, d_{ik} \leq 0 \\ 1, d_{ik} > 0 \end{cases}$$

Tabla 4. Matriz de Índices de Preferencia

c_{a_i, a_k}	1	2	3	4	5	6
1	0	0.12	0.00	0.81	0.16	0.69
2	0.98	0	0.53	0.88	0.88	0.88
3	0.69	0.28	0	1.00	0.69	0.88
4	0.00	0.12	0.00	0	0.00	0.19
5	0.72	0.12	0.31	1.00	0	0.69
6	0.31	0.12	0.12	0.31	0.12	0

Paso 3. Los flujos de orden saliente y entrante se calculan con las relaciones:

$$\phi_{a_i}^+ = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} c_{a_i, x} \quad \text{y} \quad \phi_{a_i}^- = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} c_{x, a_i}$$

Por ejemplo:

$$\phi_1^+ = \frac{0,12 + 0,00 + 0,81 + 0,16 + 0,69}{5} = 0,36$$

$$\phi_1^- = \frac{0,98 + 0,69 + 0,00 + 0,72 + 0,31}{5} = 0,54$$

Tabla 5. Matriz de Índices de Preferencia con flujos

$c_{a_i a_k}$	1	2	3	4	5	6	$\phi_{a_i}^+$
1	0	0.12	0.00	0.81	0.16	0.69	0.36
2	0.98	0	0.53	0.88	0.88	0.88	0.83
3	0.69	0.28	0	1.00	0.69	0.88	0.71
4	0.00	0.12	0.00	0	0.00	0.19	0.06
5	0.72	0.12	0.31	1.00	0	0.69	0.57
6	0.31	0.12	0.12	0.31	0.12	0	0.20
$\phi_{a_i}^-$	0.54	0.15	0.19	0.80	0.37	0.67	0

Luego se establece las Relaciones de Superación con las siguientes relaciones: a_i

supera a a_k si y solo si:

$$\phi_{a_i}^+ > \phi_{a_k}^+ \text{ y } \phi_{a_i}^- < \phi_{a_k}^- \text{ o } \phi_{a_i}^+ > \phi_{a_k}^+ \text{ y } \phi_{a_i}^- = \phi_{a_k}^- \text{ o } \phi_{a_i}^+ = \phi_{a_k}^+ \text{ y } \phi_{a_i}^- < \phi_{a_k}^-$$

Es decir:

1 supera a: 4 y 6

2 supera a: 1, 3, 4, 5 y 6

3 supera a: 1, 4, 5 y 6

5 supera a: 1, 4 y 6

6 supera a: 4

El resultado parcial, se muestra en forma gráfica:



Figura 1. El grafo de superación del PROMETHEE I

Paso 4. Cálculo del flujo neto para cada alternativa mediante la siguiente

relación: $\phi_{a_i} = \phi_{a_i}^+ - \phi_{a_i}^-$

Tabla 6. Matriz de flujos netos

$\phi_{a_i}^+ - \phi_{a_i}^-$		$\phi_{a_i}^+$					
		1	2	3	4	5	6
$\phi_{a_i}^-$	1	-0,18					
	2		0,68				
	3			0,52			
	4				-0,74		
	5					0,20	
	6						-0,47

Finalmente, se concluye que a_i supera a a_k si y solo si $\phi_{a_i} \geq \phi_{a_k}$, el preorden completo, y por tanto la ordenación final:

$$a_2 > a_3 > a_5 > a_1 > a_6 > a_4$$

Aplicación Práctica 2: Metodología PROMETHEE

El proceso de convocatoria de concurso de selección de Proyectos de Investigación con financiamiento de Recursos Ordinarios 2016, fue oficializada por las Autoridades de la Universidad mediante la Resolución de Consejo Universitario N° 691-2016 – UNASAM, de fecha 09 de setiembre, 2016.

Las bases de selección de proyectos estuvieron disponibles en el portal de la UNASAM, www.unasam.edu.pe y en el enlace de la DGI – Dirección General de Investigación: investiga.unasam.edu.pe

El concurso de los proyectos se hizo por trámite regular, es decir, a través de cada Dirección de Unidad de Investigación de las Facultades, solicitado en la Decanatura de cada Facultad. Este proceso se realizó en tres oportunidades, bajo la evaluación de ternas de docentes que conformaron el Jurado Evaluador; el primero de ellos en las facultades y los dos siguientes en la DGI. Al final, todos los resultados son remitidos a la DGI, para su trámite de financiamiento a través de la emisión de una Resolución Rectoral: N°1051-2016 – UNASAM, de fecha 19 de diciembre, 2016.

Es pertinente observar que, el proceso de selección de los proyectos de investigación para docentes que realiza la UNASAM usualmente se evalúa a través de formatos en una escala centesimal donde cada miembro de jurado emite una calificación, luego se toma el promedio simple para ordenar los puntajes de mayor a menor y seleccionar por tanto los proyectos de investigación.

Una vez más, se reitera el desconocimiento de la aplicación de los métodos estudiados en el trabajo. De igual modo, los resultados de esta investigación permitirán ofrecer a manera de propuesta, el uso de esta metodología científica en este tipo de actividades académicas.

Similarmente, para la aplicación de la metodología PROMETHEE, las acciones o alternativas corresponderán a los proyectos de investigación, y los criterios que se establecen en un número de tres, para este caso de aplicación práctica: Criterio 1: **Investigador responsable**, Criterio 2: **Equipo investigador**, y Criterio 3: **Sustentación o defensa del proyecto** a través de una sesión o clase magistral.

A continuación, se lista la relación de los proyectos de investigación presentados al concurso 2016:

Tabla 6. Relación de proyectos presentados al concurso 2016

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DOCENTE EN EJECUCIÓN FINANCIADOS CON RECURSOS ORDINARIOS - 2016		
N°	PROYECTO	FACULTAD
1	Tecnologías de banda ancha y desarrollo de las telecomunicaciones de los Centros Poblados de Huaraz-2016	FC
2	Efectividad de UBS (Unidad Básica de Saneamiento) empleando humedales artificiales con especies nativa en la depuración de aguas residuales en el Centro Experimental TUYU RURI-Marcará, para reúso de agua en riego año 2016-2017	FCAM
3	Evaluación de efectividad de especies naturales como ayudantes de coagulación, para clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en los Caseríos y Centros Poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas año 2016-2017	
4	Determinación de la eficiencia del sistema de filtros de esponjas colgantes continuas (DHS) en el tratamiento de aguas residuales del Centro Poblado de Marián Huaraz 2016-2017	

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DOCENTE EN EJECUCIÓN FINANCIADOS CON RECURSOS ORDINARIOS - 2016		
N°	PROYECTO	FACULTAD
5	Programa de intervención psicoeducativo y Síndrome Burnout en profesionales de salud de Hospitales de Casma y Huarmey, Ancash, 2016	FCM
6	Integración de saberes del cuidado popular y el cuidado profesional en la promoción de salud del lactante, Centro Poblado de Paria – 2014	
7	Influencia de un programa de intervención educativa en la calidad de vida de salud de mujeres postmenopáusicas víctimas de violencia familiar, Hospital Nuestra Señora de las Mercedes, Carhuaz, 2016	
8	Factores de riesgo asociados con lesiones precancerosas del cuello uterino en pacientes atendidas en consultorio de Ginecología Hospital Víctor Ramos Guardia Huaraz, 2014 -2015	

9	Uso adictivo del internet y su relación con la conducta sexual en adolescentes, Institución Educativa Pedro Pablo Atusparia, Huaraz, 2016	
10	Impacto de un programa de educación sexual para la prevención de embarazos en adolescentes en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz 2016	
11	Prácticas de prevención del cáncer cervicouterino en usuarias del Centro de Salud Monterrey. Huaraz-2016	
12	Proyectos de aprendizaje servicio en el marco de la responsabilidad social universitaria en las instituciones educativas rurales del Distrito de Independencia-Huaraz-2016	FCSEC
13	Factores que dificultan la elaboración de tesis de los estudiantes de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo	
14	Cultura investigativa en producción y difusión de investigaciones por docentes de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo"	FDCCPP
15	La ineficacia de las Medidas de Protección sobre violencia familiar en los juzgados de familia, Huaraz 2014-2015	

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DOCENTE EN EJECUCIÓN FINANCIADOS CON RECURSOS ORDINARIOS - 2016		
N°	PROYECTO	FACULTAD
16	La inversión pública nacional, regional y local a nivel departamental y su incidencia en la reducción de la pobreza en el Perú. 2008 – 2015	FEC
17	Impacto de la gestión por resultados en los programas presupuestales sociales de los Gobiernos Locales de la Provincia de Carhuaz Departamento de Ancash, 2010 - 2015	
18	Análisis de los gastos de consumo final de los beneficiarios del Programa JUNTOS del Distrito Marcará, Carhuaz 2016	
19	Las características físicas y la percepción de los alumnos de las aulas de aprendizaje en la Facultad de Ingeniería Civil de la UNASAM - 2016	FIC
20	Incremento del poder calorífico de los minerales de carbón antracita del Departamento de Ancash mediante la técnica de flotación diferencial – 2016	FIMGM

21	Secado de durazno (<i>Prunus Pérsica</i>) empleando la técnica de la ventana refractante	FIIA
22	Determinación de los parámetros óptimos para la elaboración de una bebida fermentada a partir de Arándano (<i>Vaccinium Myrtillus L</i>) al estado maduro	
23	Optimización de proceso productivo para el mejoramiento de la calidad de atención al paciente en el área de medicina general del Hospital Víctor Ramos Guardia de la ciudad de Huaraz-Ancash	

Una vez admitido los proyectos de investigación, se procede al proceso de selección.

Para la selección de los proyectos de investigación docente se programa una Jornada de Investigación evaluados por una terna de docentes investigadores especialistas que conforman el Jurado Evaluador, previamente cada uno de los proyectos son clasificados por área de conocimiento; usualmente Ciencias e Ingeniería, Ciencias Médicas, y Ciencias Sociales y Humanidades.

Para la valoración de los proyectos se hace uso de una escala centesimal según los tres criterios establecidos en el concurso de selección de proyectos de investigación docente 2016, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 7. Matriz de Evaluación de los proyectos de investigación docente presentados al concurso 2016

Nº de Proyecto	Criterio 1: INVESTIGADOR RESPONSABLE	Criterio 2: EQUIPO INVESTIGADOR	Criterio 3: DEFENSA DEL PROYECTO
1	52	51	52
2	50	52	51
3	55	50	53
4	52	50	50
5	65	64	66
6	63	62	62
7	59	57	56
8	57	55	56
9	54	56	55
10	59	58	59
11	51	51	50
12	58	58	58
13	55	54	55
14	62	62	62
15	62	62	62
16	53	53	53
17	52	51	50
18	58	57	58
19	57	56	54
20	54	54	55
21	55	54	54
22	53	55	52
23	53	54	52
PESOS	3	2	5

Se consideran los criterios denotados con $j=1,2,3$, todos ellos a maximizar, y veintitrés (23) alternativas o proyectos sujetas a la valoración obtenida $a_{ij} = g_j(a_i)$.

Ponderación de los criterios establecidos:

La ponderación que se establece para cada criterio dado, tiene la siguiente explicación:

Tomando como base la escala decimal, la ponderación para el criterio 1: sobre investigador responsable, se asignó un valor de 3, pues se considera que el investigador debe asumir el desarrollo del proyecto de investigación en colaboración con su equipo investigador; la ponderación para el criterio 2: sobre el equipo investigador, se asignó un valor de 2, esto explica que el equipo en su conjunto asume una menor responsabilidad en el desarrollo del proyecto de investigación, y que muchas veces pierde el firme compromiso al ver que junto a cada uno de ellos está el conjunto de docentes investigadores; la ponderación para el criterio 3: sobre defensa o sustentación del proyecto, se asignó un valor de 5, esto explica que debe ser el punto determinante en la selección del proyecto de investigación y por tanto su valoración debe ser la mejor.

Normalización de la matriz de evaluación de los proyectos

La normalización de los valores obtenidos en la tabla, incluyendo las ponderaciones de los pesos asignados a cada uno de los criterios mediante el vector de pesos o ponderación es el siguiente: $w=(3,2,5)$, indicando que la forma usual de normalización, corresponde también al procedimiento nº 3:

Tabla 8. Normalización de las evaluaciones de los proyectos de investigación

Nº de Proyecto	Criterio 1: INVESTIGADOR RESPONSABLE	Criterio 2: EQUIPO INVESTIGADOR	Criterio 3: DEFENSA DEL PROYECTO
----------------	--	---------------------------------------	--

1	0,040	0,040	0,041
2	0,039	0,041	0,040
3	0,043	0,039	0,042
4	0,040	0,039	0,039
5	0,050	0,050	0,051
6	0,049	0,049	0,049
7	0,046	0,045	0,044
8	0,044	0,043	0,044
9	0,042	0,044	0,043
10	0,046	0,045	0,046
11	0,040	0,040	0,039
12	0,045	0,045	0,045
13	0,043	0,042	0,043
14	0,048	0,049	0,049
15	0,048	0,049	0,049
16	0,041	0,042	0,042
17	0,040	0,040	0,039
18	0,045	0,045	0,045
19	0,044	0,044	0,042
20	0,042	0,042	0,043
21	0,043	0,042	0,042
22	0,041	0,043	0,041
23	0,041	0,042	0,041
PESOS	0,3	0,2	0,5

Algoritmo de la metodología PROMETHEE

Dado que la naturaleza de los criterios se orienta al propósito de ser maximizados, así como todos ellos convergen a validar la selección de los proyectos de investigación se ha utilizado un único criterio generalizado.

Paso 1. El criterio generalizado a utilizarse es el criterio tipo I que no requiere de umbrales.

$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1, & d > 0 \end{cases}$$

Paso 2. Los índices de preferencias se calculan con la siguiente relación:

$$c_{a_i a_k} = \sum_{j=1}^n w_j P_j(d_j(a_i, a_k))$$

y se forma la Matriz de Índices de Preferencia.

$$c_{ik} = c_{a_i a_k} = \sum_{j=1}^6 w_j P_j(d_j(a_i, a_k))$$

$$d_{ik} = d(a_k, a_i) = \left(\frac{1}{d}\right) \max_{j \in D(a_{kj}, a_{ij})} (a_{kj}, a_{ij})$$

$$d = \max_{.j} \max_{.i,k} (a_{kj}, a_{ij})$$

$$D(a_k, a_i) = \left\{ j/a_{ij} < a_{kj} \right\}$$

$$P_j(d_j(a_i, a_k)) = P_j(a_i, a_k) = \begin{cases} 0, & d_{ik} \leq 0 \\ 1, & d_{ik} > 0 \end{cases}$$

Tabla 9. Matriz de Índices de Preferencia

$c_{a_i a_k}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	0.8	0.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.2	0	0.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.8	0.8	0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	0.0	0.0	0.3	0.0	0.8	0.8
4	0.0	0.3	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1.0	1.0	1.0	1.0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
6	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
7	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0	0.5	1.0	0.0	1.0	0.3	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
8	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0	0.8	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.5	1.0	1.0	0.8	1.0
9	1.0	1.0	0.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.5	0.2	0.7	1.0	1.0
10	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	0	1.0	0.8	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
11	0.0	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	0.0	1.0	0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
13	1.0	1.0	0.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	0	0.0	0.0	0.8	1.0	0.0	0.5	0.3	0.5	0.8	0.8
14	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
16	1.0	1.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
17	0.0	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
19	1.0	1.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	1.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0	0.5	0.5	1.0	1.0
20	1.0	1.0	0.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.0	0.0	0.5	0	0.5	0.8	0.8
21	1.0	1.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.0	0.0	0.3	0	0.8	0.8
22	0.5	1.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0	0.2
23	0.5	1.0	0.2	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0

Paso 3. Los flujos de orden saliente y entrante se calculan con las relaciones:

$$\phi_{a_i}^+ = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} c_{a_i x} \quad \text{y} \quad \phi_{a_i}^- = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} c_{x a_i}$$

Por ejemplo:

$$\phi_1^+ = \frac{0,12 + 0,00 + 0,81 + 0,16 + 0,69}{5} = 0,36$$

$$\phi_1^- = \frac{0,98 + 0,69 + 0,00 + 0,72 + 0,31}{5} = 0,54$$

Tabla 10. Matriz de Índices de Preferencia con flujos

$c_{a_i a_k}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	$\phi_{a_i}^+$	
1	0	0.8	0.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.12
2	0.2	0	0.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.11
3	0.8	0.8	0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	0.0	0.0	0.3	0.0	0.8	0.8	0.29	
4	0.0	0.3	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01
5	1.0	1.0	1.0	1.0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00
6	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.89
7	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0	0.5	1.0	0.0	1.0	0.3	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.68
8	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0	0.8	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.5	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	0.59
9	1.0	1.0	0.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.5	0.2	0.7	1.0	1.0	1.0	0.47
10	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	0	1.0	0.8	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.77
11	0.0	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03
12	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	0.0	1.0	0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.70
13	1.0	1.0	0.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	0	0.0	0.0	0.8	1.0	0.0	0.5	0.3	0.5	0.8	0.8	0.8	0.44
14	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.86
15	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.86
16	1.0	1.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.28
17	0.0	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03
18	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.70
19	1.0	1.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	1.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	0.45
20	1.0	1.0	0.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.0	0.0	0.5	0	0.5	0.8	0.8	0.8	0.41
21	1.0	1.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.0	0.0	0.3	0	0.8	0.8	0.8	0.35
22	0.5	1.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0	0.2	0.2	0.25
23	0.5	1.0	0.2	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.25
$\phi_{a_i}^-$	0.77	0.8	0.6	0.89	0.0	0.0	0.2	0.3	0.4	0.1	0.86	0.2	0.4	0.0	0.0	0.5	0.8	0.2	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6		
		8			4	4	5	5	5	8		3	5	6	6	9	6	3	5	9	2	6	8		

Luego se establece las Relaciones de superación con las siguientes relaciones: α_i supera a α_k si y solo si:

$$\phi_{a_i}^+ > \phi_{a_k}^+ \text{ y } \phi_{a_i}^- < \phi_{a_k}^- \text{ o } \phi_{a_i}^+ > \phi_{a_k}^+ \text{ y } \phi_{a_i}^- = \phi_{a_k}^- \text{ o } \phi_{a_i}^+ = \phi_{a_k}^+ \text{ y } \phi_{a_i}^- < \phi_{a_k}^-$$

Es decir:

1 supera a: 2, 4, 11 y 17

2 supera a: 4, 11 y 17

3 supera a: 1, 2, 4, 11, 16, 22 y 23

5 supera a: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23

6 supera a: 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23

7 supera a: 1, 2, 3, 4, 8, 9, 11, 13, 16, 17, 19, 20, 21, 22 y 23

8 supera a: 1, 2, 3, 4, 9, 11, 13, 16, 17, 19, 20, 21, 22 y 23

9 supera a: 1, 2, 3, 4, 9, 11, 13, 16, 17, 19, 20, 21, 22 y 23

10 supera a: 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23

11 supera a: 4

12 supera a: 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23

13 supera a: 1, 2, 3, 4, 11, 16, 17, 20, 21, 22 y 23

14 supera a: 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23

15 supera a: 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23

16 supera a: 1, 2, 4, 11, 17, 22 y 23

17 supera a: 4

18 supera a: 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23

19 supera a: 1, 2, 3, 4, 11,13, 16, 17, 20, 21, 22 y 23

20 supera a: 1, 2, 3, 4, 11, 16, 17, 21, 22 y 23

21 supera a: 1, 2, 3, 4, 11, 16, 17, 22 y 23

22 supera a: 1, 2, 4, 11 y 17

23 supera a: 1, 2, 4, 11 y 17

Paso 4. Cálculo del flujo neto para cada alternativa mediante la siguiente

relación: $\phi_{a_i} = \phi_{a_i}^+ - \phi_{a_i}^-$

Tabla 11. Matriz de flujos netos

	$\phi_{a_i}^+ - \phi_{a_i}^-$
1	-0.65
2	-0.77
3	-0.31
4	-0.88
5	0.96
6	0.85
7	0.43
8	0.24
9	0.02
10	0.59
11	-0.83
12	0.47
13	-0.01
14	0.80
15	0.80
16	-0.31
17	-0.83
18	0.47
19	0.00
20	-0.08
21	-0.17
22	-0.41
23	-0.43

Finalmente, se concluye que a_i supera a a_k si y solo si $\phi_{a_i} \geq \phi_{a_k}$, el preorden completo, y por tanto la ordenación final:

$$\begin{aligned} a_5 &> a_6 > a_{14} > a_{15} > a_{10} > a_{12} > a_{18} > a_7 > a_8 > a_9 > a_{19} > a_{13} > a_{20} \\ &> a_{21} > a_3 > a_{16} > a_{22} > a_{23} > a_1 > a_2 > a_{11} > a_{17} > a_4 \end{aligned}$$

V. DISCUSIÓN

La metodología PROMETHEE a través de sus métodos PROMETHEE I y PROMETHEE II ha sido utilizada en dos ejemplos como aplicación práctica. Estos ejemplos resultan ser representativos en los casos de evaluación y selección de proyectos de investigación en ciencia aplicada e investigación docente. Los casos desarrollados aportan a modo de propuesta a la Dirección General de Investigación estrategias de evaluación de proyectos junto al establecimiento de criterios, que resultan ser exigencias que se debe implementar con el propósito de mejorar cada día y tener mejores proyectos que se distingan por su originalidad, impacto y calidad.

Parece razonable que una vez discutida tanto la naturaleza como el funcionamiento de algunos métodos multicriterios nos planteemos la evaluación comparativa de las ventajas e inconvenientes que presentan dichos métodos. En pocas palabras, cabe preguntarse cuál es el método multicriterio más adecuado. La respuesta, no es sencilla, pues cada método conlleva una serie de ventajas e inconvenientes.

Los métodos multicriterios discretos no satisfacen un sistema axiomático consistente y atractivo, una falencia que poco a poco se viene superando, esta falta de base axiomática hace que las clasificaciones de alternativas proporcionadas por diferentes métodos resulten aún cuestionables, cuando no arbitrarias.

Para ordenar simultáneamente los n criterios es una tarea complicada para cualquier decisor, muy especialmente cuando el número n de criterios es elevado.

Por otra parte, algunos de estos métodos demandan un tipo de información que en muchas ocasiones resulta muy difícil de obtener, más aún cuando son de carácter cualitativo.

En la primera aplicación práctica resuelto con la metodología PROMETHEE se obtuvieron los mismos resultados que se consiguieron con la aplicación de los formatos llevados por el Jurado Evaluador, es decir, de la mayor valoración a la menor valoración de cada uno de los proyectos al comparar este resultado con el promedio simple que usualmente se aplica para determinar al mejor proyecto.

Similarmente, en la segunda aplicación práctica resuelto con la metodología PROMETHEE, observamos que en su mayor parte coinciden los resultados ordenados en la valoración de mayor a menor, por lo que afirmamos la consistencia y estabilidad de la metodología en cuanto a la tarea principal de elegir lo mejor, en este caso-problema de proyectos de investigación.

Es importante indicar que, el establecimiento de los pesos o ponderaciones sobre los criterios establecidos resultan ser lógicamente muy razonables y pertinentes con la ayuda del PROMETHEE.

VI. CONCLUSIONES

Para el problema de decisión multicriterio existe una amplia gama de métodos de solución, en este estudio, se ha utilizado solo una metodología, el PROMETHEE. El estudio y análisis de la metodología ha permitido hacer una concientización de su utilidad práctica en los problemas de decisiones multicriterio.

Los métodos PROMETHEE I y II actúan secuencialmente para resolver el problema de decisión multicriterio, una primera etapa de ordenación parcial de las alternativas y la segunda en una ordenación total de las mismas. La manera comparativa, no se entiende en el sentido que resuelvan el problema de decisión multicriterio discreta independientemente, sino de manera complementaria, de un ordenamiento parcial a un ordenamiento total.

La oportunidad que se debe resaltar sobre la metodología PROMETHEE es de constituir una herramienta de ayuda fundamental a la toma de decisiones en problemas de múltiples criterios, permitiendo obtener resultados de evaluación de información cuantitativa y cualitativa, lo cual lleva a entender que facilita la toma de decisión de selección de los elementos intervinientes en el problema multicriterio discreta.

La solución a la modelo matemática del problema de decisión multicriterio discreta permite entonces, ordenar elementos intervinientes según la naturaleza del problema especialmente de aquellos que se plantean en optimización matemática, tal como ha sucedido en los ejemplos de aplicación práctica planteados.

Es importante indicar que la metodología PROMETHEE es independiente del tipo de organización que presenta su problema, trascendiendo entonces enormemente su aporte como herramienta de ayuda a la toma de decisiones.

Asimismo, hemos visto que se basan en problemas matemáticos que sirve de gran ayuda en el cálculo de prioridades o preferencias y que complementa el procedimiento de la metodología PROMETHEE y su análisis hecho en los métodos PROMETHEE I y PROMETHEE II para lograr las soluciones del problema de decisiones.

Se han evaluado alternativa y alternativa como criterio a criterio de manera comparativa como es la esencia de las relaciones de superación y las relaciones de preferencia.

Ningún problema multicriterio puede ser tratado adecuadamente si no se dispone de información completa y adicional.

La globalización del conocimiento obliga a incorporar mayor información dentro de los procesos de decisión haciéndolos más complejos. Esto requiere de sistemas de soporte a la decisión sólido, potente y confiable.

VII. RECOMENDACIONES

- En futuras investigaciones se sugiere explorar otras metodologías de la teoría de decisión multicriterio discreta para atender soluciones existentes al problema de decisiones multicriterio.
- Cada uno de los criterios generalizados que se pueden utilizar en la metodología PROMETHEE permite ampliar y dilucidar el estudio de casos prácticos de estudio, por ello se hace necesario hacer uso de la mayor parte de los criterios generalizados.
- Estudiar los otros métodos de la metodología PROMETHEE, tales como PROMETHEE III, IV y V.
- El estudio es conveniente para las organizaciones dedicadas a diferentes actividades, entre las que destaca a aquellas dedicadas a la administración de recursos humanos, recursos hídricos, planificación de proyectos, localización de servicios, entre otras muchas aplicaciones.
- El PROMETHEE resulta ser una metodología que estructura e integra de forma natural todos los criterios relevantes del problema, ya sea se trate de naturaleza cualitativos y/o cuantitativos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❖ BARBA, S. ROMERO, J y POMEROL, C. (1997). *Decisiones Multicriterio*. Ed. Servicio de publicaciones de la U.A.H.
- ❖ BARBA-ROMERO, S. y POMEROL, J.C (1997). *Decisiones Multicriterio: Fundamentos teóricos y utilización práctica*. Servicios de Publicaciones de la Universidad Alcalá de Henares.
- ❖ BEGOÑA VITORIANO (2007). *Teoría de la Decisión*. Servicios de Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid.
- ❖ BRANS, J.P (1982). *L'Ingénierie de la decision. Elaboration d'instruments d'Aide á la decision. La method PROMETHEE. Université LAVAL. Colloque d'Aide á la decision, Québec, pp. 183-213*.
- ❖ BRANS, J.P; MARESCHAL, B y VINCKE, Ph. (1984) . PROMETHEE: A new family of outranking methods in MCDM. Edit. Operational Research 84. North Holland (1100 p.): pp. 447-490.
- ❖ BRANS, J.P (1985). *A Preference Ranking Organisation Method*. Management Science. Vol. 31. N°6. Inform. University of Brussels.
- ❖ BRANS, J.P; MARESCHAL, B y VINCKE, Ph. (1986). *How to select and how to rank projects: The PROMETHEE Method*. Edit. European Journal of Operational Research 24, pp. 228-238. North Holland.
- ❖ DE KEYSER WIN, PEETERS, PETER (1996). *Theory and Methodology. A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods*. European Journal of Operational Research 89. ElSevier. 457-461.

- ❖ FERNÁNDEZ, GABRIELA. (1998). Los Métodos PROMETHEE: Una metodología de ayuda a la toma de Decisiones Multicriterio Discreta. Universidad San Pablo-CEU.
- ❖ GUERRAS MARTÍN, L.A (1989). *Gestión de Empresas y Programación Multicriterio*. ESIC,D.L.
- ❖ MARAGOUDAKI, R. (1985). *Flood Mitigation Planning using Promethee*. National Technical University of Athens, Greece.
- ❖ MARTINEZ E et Al, (1998). *Evaluación y Decisión Multicriterio-Reflexiones y Experiencias*. Chile. Editorial Universidad de Santiago de Chile /UNESCO.
- ❖ NOOR AZIZAH KS MOHAMADALI (2007). *A Review of Selected Multi-Criteria Decision Analysis Techniques and Applications*. Reino Unido. Intelligent Modeling and Analysis Research Group.
- ❖ ROMERO, C. (1993). *Teoría de la Decisión Multicriterio*. Alianza Editorial de publicaciones de la U.A.H.
- ❖ SIMON H. (1960). *The New Science Management Decision*. Pittsburgh: RWS Publications.
- ❖ VOJISLAV TOMIC, Z.M. (2011). *Promethee Method Implementation with Multicriteria Decisions*. Mechanical Engineering Faculty. Serbia.