



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# Metodología para la búsqueda de consenso en toma de decisiones grupales multicriterio (MCGDM). Caso de estudio en gestión ambiental

Jorge Iván Romero Gelvez

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento Sistemas e Industrial  
Bogotá, Colombia  
2019



# Metodología para la búsqueda de consenso en toma de decisiones grupales multicriterio (MCGDM). Caso de estudio en gestión ambiental

**Jorge Iván Romero Gelvez**

Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Doctor en Ingeniería Industria y Organizaciones**

Director:

PhD., Félix Antonio Cortes Aldana

Co directora:

PhD., Mónica García Melón

Línea de Investigación:

Métodos y modelos de optimización, logística y estadística en Ingeniería Industrial y  
Administrativa

Grupo de Investigación:

Algoritmos y combinatoria

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Sistemas e Industrial

Bogotá, Colombia

2019

**Para Oliver y Mariana**

“Vivimos en un mundo de creciente complejidad y cambio acelerado que nos obliga a seguir aprendiendo para sobrevivir.”

Thomas L. Saaty

# Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis directores de proyecto Dr. Félix Antonio Cortes Aldana y la Dra. Mónica García Melón. Gracias por su apoyo incondicional, consejos, constancia, guía y paciencia infinita; gracias también por su confianza depositada en mí durante este largo tiempo.

En segundo lugar, quiero agradecer a mis familiares y amigos. En especial a mi esposa Mariana, quien ha sido siempre gran apoyo incondicional en los mejores y peores momentos de mi vida. También agradezco a mis padres, a mis suegros y a mi hermano, quienes me brindaron su ayuda y aliento en los momentos más difíciles durante los últimos años.

Quiero agradecer también a la Universidad Nacional de Colombia, donde comencé mi formación como docente e investigador y donde me enamoré de esta profesión, en especial al recordado profesor Carlos Cortés Amador (q.e.p.d) y al profesor Héctor Cifuentes, mi director de tesis de maestría y un gran mentor en el comienzo de mi actividad académica. A la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, donde finalmente encontré apoyo para culminar el doctorado.



# Resumen

La toma de decisiones grupal busca agregar opiniones de varios individuos en una decisión consensuada. Muchos autores coinciden en que nuestra sociedad moderna es en esencia un problema de decisiones grupal. El conflicto en este tipo de decisiones se presenta debido a la asimetría de información presente en las motivaciones y actitudes de cada miembro del grupo mientras se intenta llegar a una decisión grupal agregada. Esta tesis presenta un aporte original al proponer una metodología novedosa para búsqueda de consenso suave (El consenso bajo un cierto grado de acuerdo) en decisiones grupales CGDM, incluyendo la medición y análisis de influencias entre ellos como herramienta para asesorar el cambio de sus preferencias y persuadir a los expertos en situaciones con alta discordancia. Mediante el desarrollo de dos estudios de caso, esta tesis propone un método para reducir las inconsistencias en las matrices de comparación por pares utilizando un algoritmo de censo de tríadas. Además, el documento presenta dos métodos para calcular el peso de los decisores: el primero a través del cálculo de la influencia con una medida de centralidad inversa normalizada, obtenida del tema formal del análisis de redes sociales. El segundo, a través de la modificación sobre la medida de influencia propuesta en el método DEMATEL.

**Palabras clave:** CGDM, consenso-suave, toma de decisiones grupal, análisis de redes sociales, influencia, persuasión .





# Abstract

Group decision making seeks to add opinions for several individuals in a consensual decision. Many authors agree that our modern society is essentially a problem of group decisions. The conflict in this type of decisions arises due to the symmetry of information present in the motivations and attitudes of each member of the group while trying to reach an aggregate group decision. This thesis presents an original contribution by proposing a novel methodology to seek soft consensus (The consensus under a certain degree of consensus) in CGDM group decisions, including the measurement and analysis of influences between them as a tool to advise the change of their preferences and persuade experts in situations with high discordance. Through the development of two case studies, this thesis proposes a method for reducing inconsistencies in pairwise comparison matrices using a triad census algorithm. Additionally, the document introduces two methods for calculating the weight of decision-makers: the first through the calculation of influence with a normalized inverse centrality measure, obtained from the formal topic of social network analysis. The second one, through the modification over the influence measure proposed in the DEMATEL method.

**Keywords:** CGDM, soft consensus, group decision making, social network analysis, influence, persuasion

---

# Contenido

Resumen	VII
Abstract	IX
Contenido	XV
Lista de Figuras	XIX
Lista de Tablas	XXII
Glosario de términos	XXIII
Glosario de términos	XXIII
Siglas	XXV
Siglas	XXV
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Contexto . . . . .	1
1.2. Productos de investigación del documento de tesis . . . . .	8
1.3. Estructura del documento de tesis . . . . .	9
1.4. Principales Aportes del documento de tesis . . . . .	9

---

<b>2. Estado del arte</b>	<b>11</b>
2.1. Introducción a la toma de decisiones multicriterio . . . . .	11
2.1.1. Agentes que intervienen en el proceso . . . . .	11
2.1.2. La matriz de decisión . . . . .	13
2.1.3. Alternativas y criterios . . . . .	14
2.1.4. Asignación de Pesos . . . . .	15
2.1.5. Tratamiento de información cuantitativa/cualitativa y selección de técnicas . . . . .	18
2.1.6. El voto y la elección social . . . . .	28
2.1.7. Deficiencias del sistema de votación tradicional . . . . .	28
2.1.8. Juicios de valor y comparaciones versus asignación directa . . . . .	30
2.1.9. Decisiones grupales y jerárquicas . . . . .	33
2.1.10. Disolución de conflictos y consenso suave . . . . .	35
2.1.11. Juicios humanos y toma de decisiones . . . . .	36
2.1.12. Tendencias en análisis de decisión grupal y negociación . . . . .	37
2.2. Metodología para realizar la revisión sistemática de literatura . . . . .	38
Preguntas de investigación para la revisión de literatura . . . . .	38
2.3. Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal . . . . .	39
2.3.1. Primeros desarrollos en decisión multicriterio MCDM . . . . .	39
2.3.2. Origen de la Teoría de la utilidad y del Análisis de decisión . . . . .	43
2.3.3. Origen de la Programación matemática multi-objetivo . . . . .	46
2.3.4. Toma de decisiones multi-atributo MADM y multi-objetivo MODM .	50
2.3.5. Toma de decisiones multi-criterio grupal MCGDM . . . . .	51
2.3.6. Construcción de consenso en toma de decisiones multi-criterio grupal	54

## CONTENIDO

---

2.3.7. Revisión documental - búsqueda de consenso en toma de decisiones grupales CGDM . . . . .	55
2.4. Análisis del concepto de influencias en toma de decisiones multicriterio grupales.	64
2.4.1. Antecedentes Análisis de influencia . . . . .	64
2.4.2. Toma de decisiones en Gestión ambiental . . . . .	67
2.4.3. Importancia de la influencia en la toma de decisiones ambientales . .	69
2.4.4. Influencia entre grupos de interés y Análisis de redes sociales . . . . .	69
2.4.5. Revisión documental - influencia para búsqueda de consenso en toma de decisiones grupales CGDM . . . . .	70
2.5. Conclusiones del capítulo 2 . . . . .	75
<b>3. Problema de Investigación</b>	<b>77</b>
3.1. Justificación . . . . .	77
3.1.1. Situación actual - Problemática en búsqueda de consenso para toma de decisiones grupales multicriterio . . . . .	79
3.1.2. Situación actual - El problema en la búsqueda de consenso y el análisis de influencias en decisiones grupales ambientales . . . . .	80
3.1.3. Situación deseada – Desarrollo de una metodología para buscar consenso en decisiones grupales mediante análisis de influencias entre participantes . . . . .	81
3.1.4. Vacío temático que aborda el documento . . . . .	82
3.2. Objetivos de la tesis doctoral . . . . .	84
3.3. Hipótesis de la tesis doctoral . . . . .	85
3.4. Metodología de la investigación . . . . .	87
3.5. Preguntas de investigación . . . . .	88
<b>4. Metodología para la búsqueda de consenso en toma de decisiones multi-</b>	

<b>criterio grupal</b>	<b>89</b>
4.1. Desarrollo de la metodología . . . . .	89
4.1.1. Declaración del problema de decisiones . . . . .	90
4.1.2. Disposición del panel de <i>stakeholders</i> . . . . .	91
4.1.3. Cálculo de influencia y peso de los participantes . . . . .	92
4.1.4. Cálculo de las priorizaciones individuales mediante Proceso Analítico jerárquico . . . . .	95
4.1.5. Propuesta de método para reducir inconsistencia en matrices de comparaciones pareadas . . . . .	97
4.1.6. Control mediante índice de consenso . . . . .	100
4.2. Paquetes de software para implementar la metodología . . . . .	103
4.2.1. <i>Super decisions</i> . . . . .	103
4.2.2. Paquete <i>AnalyticHierarchyProcess</i> desarrollado para toma de decisiones en el lenguaje Julia . . . . .	104
4.3. Conclusiones del capítulo 4 . . . . .	106
<b>5. Prueba de la metodología - Casos de estudio</b>	<b>109</b>
5.1. Estudio de caso - PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY . . . . .	109
5.1.1. Descripción del caso de estudio . . . . .	109
5.1.2. Declaración del problema de toma de decisiones. . . . .	116
5.1.3. Disposición del panel de stakeholders. . . . .	117
5.1.4. Cálculo del peso de cada decisor . . . . .	119
5.1.5. Cálculo de las priorizaciones individuales por AHP. . . . .	125
5.1.6. Control mediante índice de consenso . . . . .	130
5.1.7. Decisión final . . . . .	135
5.2. Estudio de caso - SELECCIÓN DE LOCACIÓN PARA ECO TURISMO EN EL AMAZONAS . . . . .	136

## CONTENIDO

---

5.2.1. Declaración del problema de toma de decisiones. . . . .	136
5.2.2. Disposición del panel de stakeholders. . . . .	138
5.2.3. Calculo del peso de cada decisor . . . . .	138
5.2.4. Cálculo de las priorizaciones individuales por AHP y control de consenso	140
5.3. Decisión final . . . . .	142
5.4. Conclusiones del capítulo 5 . . . . .	143
<b>6. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>145</b>
6.1. Conclusiones . . . . .	145
6.2. Contribución científica . . . . .	149
6.3. Cumplimiento de los objetivos específicos . . . . .	152
6.4. Recomendaciones . . . . .	153
6.4.1. Investigación futura . . . . .	153
<b>A. Anexo: Artículos</b>	<b>155</b>
A review on Consensus-Group-Decision-Making . . . . .	155
Influence Analysis in Consensus Search - A Multi Criteria Group Decision Making Approach in Environmental Management . . . . .	183
Influence Networks based Methodology for Consensus Reaching in Group- Decision-Making . . . . .	207
A Triad Census Approach for Improving Consensus and Consistency in Group Decision Making Problems . . . . .	223
<b>B. Anexo: Ponencias</b>	<b>243</b>
<b>C. Anexo: Encuesta para el caso de estudio</b>	<b>245</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>279</b>





# Lista de Figuras

1-1. Conflictos por sector económico. Adaptado de (Perez Rincon et al., 2015) . . . . .	2
1-2. Conflictos de justicia ambiental en Colombia . . . . .	3
2-1. Elementos básicos de una red social. Fuente: (Borgatti et al., 2018) . . . . .	19
2-2. Medidas de centralidad . . . . .	20
2-3. Comparación de tamaño de manzanas . . . . .	32
2-4. Tipos de decisores. Adaptado de (Holsapple, 1991) . . . . .	35
2-5. Disolución de conflictos entre decisores . . . . .	36
2-6. Primeros desarrollos en MCDM e inicio de la teoría de la utilidad. Fuentes: Ultima foto abajo a la izquierda, es tomada de: Shelby White and Leon Levy Archives Center, las demás son de libre distribución. . . . .	44
2-7. Linea de Tiempo teoría de la utilidad. . . . .	45
2-8. Desarrollo del MADM (Tzeng and Huang, 2011; Hwang and Yoon, 1981) . . . . .	50
2-9. Desarrollo del MODM (Tzeng and Huang, 2011) . . . . .	51
2-10. Taxonomía reducida MAGDM. Basado en (Dong et al., 2015; Hwang and Lin, 2012) . . . . .	52
2-11. Evolución de producción anual en CGDM . . . . .	57
2-12. Impresión de tres campos para búsqueda de consenso . . . . .	58
2-13. Citación directa histórica en CGDM . . . . .	58

2-14.Crecimiento en las fuentes en el tiempo . . . . .	62
2-15.Producción de autores top en el tiempo . . . . .	62
2-16.Autores y fuentes más relevantes . . . . .	63
2-17.Redes de colaboración entre autores . . . . .	63
2-18.Impresión de tres campos en CGDM incluyendo influencias . . . . .	71
2-19.Citación directa histórica en CGDM con influencia . . . . .	72
2-20.Crecimiento en las fuentes en el tiempo . . . . .	73
2-21.Producción de autores top en el tiempo . . . . .	73
2-22.Autores y fuentes más relevantes . . . . .	74
2-23.Redes de colaboración entre autores . . . . .	74
4-1. Metodología desarrollada . . . . .	90
4-2. Nodos dirigidos para cada triada . . . . .	99
4-3. Interfaz de Super decisions . . . . .	103
4-4. Interfaz de Super decisions . . . . .	104
4-5. Instalación del paquete . . . . .	105
4-6. Ejemplo de aplicación de la función eigenv . . . . .	105
4-7. Ejemplo de aplicación de la función CRA . . . . .	106
4-8. Ejemplo de aplicación de la función entropía . . . . .	106
4-9. Ejemplo de aplicación de la función VIKOR . . . . .	107
5-1. Mapa del Parque Nacional Natural El Cocuy. . . . .	110
5-2. Recorrido realizado hacia pico Ritacuba blanco. . . . .	111
5-3. Recorrido laguna grande de la sierra. . . . .	111
5-4. Problemas ambientales en el parque -1 . . . . .	112
5-5. Problemas ambientales en el parque - 2 . . . . .	112
5-6. Recorridos en el parque natural -1 . . . . .	113

## LISTA DE FIGURAS

---

5-7. Recorridos en el parque natural -2 . . . . .	113
5-8. Recorridos en el parque natural -3 . . . . .	114
5-9. Influence Network in Gephi® . . . . .	121
5-10.Importancia $r + c = t_i^+$ e Influencia $r - c = t_i^-$ en DEMATEL con relaciones de la matriz $X$ . . . . .	124
5-11.Pesos finales de los tomadores de decisiones . . . . .	125
5-12.Estructura jerárquica del problema con seis tomadores de decisiones: software Superdecisiones ® . . . . .	126
5-13.Clasificación de problemas por tomador de decisiones . . . . .	130
5-14.Recorrido laguna grande de la sierra. . . . .	134
5-15.Resultados del modelo AHP con modelos propuestos usando Superdecisions .	135
5-16.Ranking final con Superdecisions . . . . .	136
5-17.Ejemplo de datos recopilados del formato de encuesta HTML. . . . .	139
5-18.Reducción de inconsistencia . . . . .	142
5-19.Escalafon final de las alternativas . . . . .	143



# Lista de Tablas

1-1. Conflictos de justicia ambiental en el mundo. Fuente: Environmental Justice Atlas . . . . .	2
1-2. Productos del documento de tesis . . . . .	8
2-1. Matriz de decisión . . . . .	13
2-2. Escala verbal de Saaty Fuente:(Saaty, 1977) . . . . .	15
2-3. Tipos de análisis formal en toma de decisiones (Bell et al., 1988; Tzeng and Huang, 2011) . . . . .	40
2-4. Revisión inicial . . . . .	56
2-5. Componentes de la revisión . . . . .	56
2-6. Revisión de la literatura sobre búsqueda de consenso . . . . .	59
2-7. Mapa historiográfico, los artículos mas relevantes en CGDM . . . . .	60
4-1. Escala verbal de Saaty. Fuente: (Saaty, 1977) . . . . .	95
4-2. Todas las triadas y posiciones $a$ en $M$ . . . . .	100
4-3. Escala - nivel de consenso . . . . .	102
5-1. Valores de Influencia para cada Decisor . . . . .	120
5-2. Agregación $A$ y Normalización $D$ , también llamada matriz $D$ . . . . .	121
5-3. Matriz de relación total, valores de $T$ , $r$ y $c$ . . . . .	123

<b>5-4.</b> Valores de Influencia y pesos finales para cada decisor . . . . .	124
<b>5-5.</b> Matriz CR - Priorización final de los objetivos con AHP para cada stakeholder	127
<b>5-6.</b> Inconsistencia total en todas las triadas para la matriz A sobre un tomador de decisiones . . . . .	141
<b>B-1.</b> Ponencias realizadas . . . . .	243

# Glosario de términos

**Stakeholders** Involucrados, parte interesada o interesados. 118

**Análisis de redes sociales** El análisis de redes sociales es un área de investigación enfocada en el estudio de las redes sociales, que a diferencia de las ciencias sociales y las ciencias de la conducta, da una importancia preponderante a las interrelaciones existentes entre las entidades que interactúan en la red. 19

**Consenso** Acuerdo o conformidad en algo de todas las personas que pertenecen a una colectividad. 39, 53, 54, 55, 57, 66, 71, 84, 85, 86, 87, 88, 100, 101, 102, 103, 106, 134, 147, 148, 149, 150, 152

**Influencia** La influencia es la calidad que otorga capacidad para ejercer determinado control sobre el poder por alguien o algo. XIX, XXI, XXII, 119, 120, 122, 124, 137, 143

**Multicriterio** El análisis multicriterio, análisis multi objetivo, también abreviado como AMO, es un instrumento que se utiliza para evaluar diversas posibles soluciones a un determinado problema, considerando un número variable de criterios, se utiliza para apoyar la toma de decisiones en la selección de la solución más conveniente. 9, 10, 39, 41, 42, 43, 45, 47, 48, 64, 67, 70, 84, 86, 87, 88, 106, 149, 150, 152





# Siglas

**AHP** Analytic Hierarchy Process.

**CGDM** Consensus Group Decision Making.

**CI** Índice de consenso.

**MCDA** Multiple Criteria Decision Analysis.

**MCDM** Multiple Criteria Decision Making.

**MCGDM** Multiple Criteria Group Decision Making.

**SCA** Soft Consensus Analysis.

**SNA** Social Network Analysis.



# Capítulo 1

## Introducción

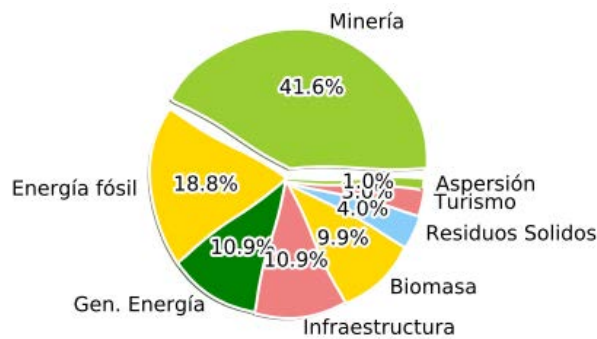
### 1.1. Contexto

Colombia desarrolló a nivel nacional, la construcción de un marco planificador a largo plazo, para guiar la formulación de futuros planes de desarrollo nacional y regional; se trata de la Visión Colombia 2019, que en materia de gestión ambiental plantea: **“Consolidar una Gestión Ambiental que promueva el Desarrollo Sostenible”**. *“En 2019, la biodiversidad y los recursos naturales serán considerados parte integral y fundamental del patrimonio de Colombia y fuentes de riqueza y bienestar, presentes y futuras, para la Nación. La Gestión Ambiental deberá garantizar el manejo eficiente y eficaz del medio ambiente, los recursos naturales y la biodiversidad y permitir y promover la participación de todos los segmentos de la sociedad en la toma de decisiones ambientales, en sus costos y en sus beneficios”*. Colombia es actualmente el tercer país con más casos registrados en conflictos de justicia ambiental en el mundo. Puede notarse, un incremento de 99 casos registrados en 2015 a 128 casos registrados en 2019 (Ver Tabla 1-1). Como se muestra en el desarrollo de la tesis, la importancia de la gestión de grupos en decisiones ambientales es necesaria en la generación de políticas públicas que garanticen un desarrollo sostenible en aspectos sociales, económicos y tecnológicos.

**Tabla 1-1:** Conflictos de justicia ambiental en el mundo. Fuente: Environmental Justice Atlas

País	Conflictos	País	Conflictos
India	316	Nigeria	81
Brasil	135	España	80
<b>Colombia</b>	<b>129</b>	Indonesia	72
China	111	Argentina	64
USA	108	Ecuador	63
México	98	Turquía	57
Perú	92	Chile	56

Según el Environmental Justice Atlas <sup>1</sup>, en 2015 Colombia fue el país con más conflictos ambientales en el mundo con 99 casos registrados. Una situación que no mejora en la actualidad, con 129 casos registrados en 2019. Puede evidenciarse en (Perez Rincon et al., 2015) que Colombia presenta conflictos ambientales en múltiples temáticas, tales como: la minería, energía fósil, generación energética, infraestructura, biomasa, residuos sólidos, turismo y aspersión como podemos observarlo en la Figura 1.1.



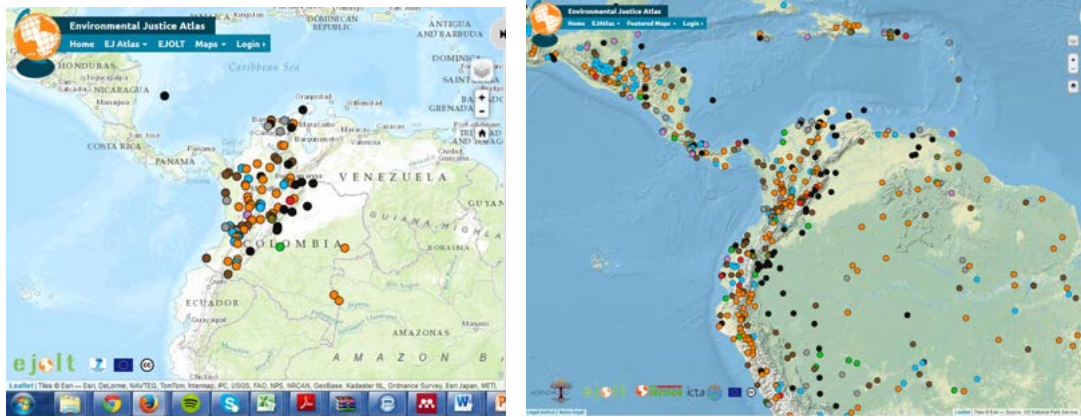
**Figura 1-1:** Conflictos por sector económico. Adaptado de (Perez Rincon et al., 2015)

<sup>1</sup><https://ejatlas.org/>

## 1.1 Contexto

---

El creciente aumento en cantidad y variedad de problemas ambientales en los últimos cuatro años (ver Figura 1-2) refleja la necesidad de proponer herramientas que permitan gestionar los intereses en conflicto de múltiples grupos de interés a quienes afecta directamente cada conflicto.



(a) Fuente: Environmental Justice Atlas, 2015 (b) Fuente: Environmental Justice Atlas, 2019

**Figura 1-2:** Conflictos de justicia ambiental en Colombia

La complejidad de los problemas ambientales requiere un proceso de decisión transparente y flexible que integre diferentes áreas de conocimiento y valores (Reed, 2008). Sin ayuda, la toma de decisiones complejas, entre las que se encuentran las ambientales, se torna más difícil. (McDaniels et al., 1999). En los problemas ambientales, los aportes esperados incluyen el modelado o seguimiento de datos, análisis de riesgos, análisis de costo o de costo-beneficio, y la agregación de preferencias de los grupos de interés, lo cual supone un importante desafío. Este proceso de agregación puede ser opaco y parecer injusto, sobre todo cuando las preferencias de los interesados no se tratan de una manera que se percibe como objetiva (Linkov and Ramadan, 2004).

Según Linkov & Moberg (2011) el análisis de decisión multicriterio, es el conjunto de métodos y herramientas que provee una metodología matemática que incorpora la evaluación de diferentes decisores y grupos de interés como también información técnica para seleccionar la mejor alternativa al afrontar un problema; este análisis permite defender la toma de decisiones de forma más lógica y científica. Lo anterior manifiesta las características inherentes de las decisiones ambientales, las cuales hacen de sus procesos de decisión situaciones dinámicas y complejas. Los problemas ambientales a menudo implican ciencia compleja y muchas partes interesadas, y las soluciones potenciales a menudo tienen que ser juzgadas contra muchos criterios para ser comparadas plenamente. Infortunadamente, la tendencia humana básica es simplificar tales decisiones y situaciones complicadas hasta que sean manejables, lo que resulta en la pérdida de información sobre el problema, pérdida de información acerca de los puntos de vista, y pérdida de información acerca de la incertidumbre; en esencia, luchamos para incorporar toda la información disponible para tomar decisiones con pleno conocimiento de causa. El resultado puede ser preguntas, controversias y problemas durante largos intervalos de tiempo sin resolución satisfactoria (Linkov and Moberg, 2011).

Por otra parte, la búsqueda de consenso tal como lo expresan (Cabrerizo et al., 2013) presenta retos y preguntas abiertas que deben tratarse en las siguientes temáticas: (1) el asesoramiento, (2) modelos de consenso basados en la confianza, (3) visualización y verbalización del proceso, (4) importancia de los expertos, (5) contextos dinámicos de decisión, y (6) persuasión. El presente documento sin dejar de lado las demás temáticas, se enfoca en:

- **Importancia de los expertos:** Según (Fu et al., 2014) citando a (Parreiras et al., 2010), cuando se trata con decisiones grupales, es crucial considerar los diferentes tipos de incertidumbre, los cuales son según (Lu et al., 2007): (1) las preferencias del decisor sobre las alternativas, (2) el rol del decisor (es difícil asignar un peso a la opinión de cada experto) y (3) la importancia de cada criterio. La importancia de los expertos trata con el segundo tipo de incertidumbre. Según (Cabrerizo et al., 2013)

en la toma de decisiones grupales, hay muchas situaciones donde el conocimiento de los expertos no es igualmente importante (Herrera-viedma et al., 2007; Herrera et al., 1996a; Herrera et al., 1997). Para modelar estas situaciones el enfoque más común en la literatura consiste en la asignación de un peso a los expertos en el grupo. Los modelos de consenso han tomado en cuenta la heterogeneidad de los expertos cuando agregan sus opiniones para obtener la preferencia colectiva pero no cuando asesoran a los expertos cómo cambiar sus preferencias para aumentar el nivel de consenso. Es por esto que estos autores proponen “es importante desarrollar modelos de consenso que tomen en cuenta los pesos de los expertos (su importancia), no solamente agregando sus preferencias sino también asesorando como cambiar sus preferencias”. Acorde a (Fu et al., 2014) en el análisis de decisiones en grupo, el consenso generalmente ha sido alcanzado por una de dos estrategias, la modificación de las evaluaciones de los expertos y el ajuste de los pesos de los expertos.

- **Persuasión (Influencia social):** Según (Cabrerizo et al., 2013) una de las tareas del moderador en los procesos de consenso es asesorar a los expertos en cómo pueden cambiar sus opiniones buscando incrementar el nivel de consenso, lo cual es una tarea complicada. Por lo cual estos mismos autores sugieren utilizar herramientas propias de la psicología para influenciar a los expertos a cambiar sus actitudes, creencias o comportamientos mediante técnicas representadas en seis grupos: (1) Prueba social: la gente hará lo que ve que hacen los demás, (2) autoridad: las personas tienden a obedecer a las figuras de autoridad, (3) vinculación: las personas son fácilmente persuadidas por otras personas cercanas, (4) escasez: los elementos o recursos escasos son más demandados, (5) consistencia: si la gente se compromete verbalmente o por escrito a alcanzar una meta, son más propensos a cumplir este compromiso, y (6) reciprocidad: la gente tiende a devolver un favor.

- Visualización y verbalización del proceso:** De acuerdo a (Cabrerizo et al., 2013; Tavana and Kennedy, 2006; Kacprzyk et al., 2010) se presenta un problema particular cuando en muchos procesos de consenso los participantes no tienen una idea clara sobre el estado de consenso actual sobre las opiniones de los demás involucrados en el proceso de decisión. Para resolver estos problemas, pueden utilizarse visualización y verbalización, por una parte diagramas de consenso y por otra grandes esquemas de información generados automáticamente.

Retomando la temática principal, en decisiones grupales son muchos los ejemplos en los cuales se desea buscar consenso mediante influencia de los actores. Una primera aproximación puede encontrarse en los trabajos de (Armstrong et al., 1982; Dyer and Sarin, 1979). Dado que un participante (actor o grupo de interés) particular tiene el poder de influenciar a otros en los procesos de toma de decisión tal como lo exponen (Keeney, 2013; Keeney and Raiffa, 1993; Saaty and Peniwati, 2013) debe prestarse especial atención al análisis de influencias para buscar decisiones consensuadas. Actualmente se han aplicado métodos de áreas del conocimiento tan diversas como las ciencias sociales y las ciencias de la salud para abordar esta temática, entre los cuales se encuentran el análisis de grupos de interés (stakeholders), uso de procesos participativos, psicología social, métodos de votación, teoría de juegos, entre otros. Una de las aplicaciones más recurrentes se puede notar en las decisiones ambientales, por tratarse de problemas de gran complejidad y múltiples grupos de interés con funciones de valor propias, tal como puede consultarse en (Aragón-Beltrán et al., 2015; Linkov and Moberg, 2011; Prell et al., 2009; Reed, 2008; Reed et al., 2009). Recientemente algunos autores (Aragón-Beltrán et al., 2015; Wu and Chiclana, 2014; Wu et al., 2015) han abordado el estudio de la importancia de los expertos y la influencia entre los mismos, podemos destacar a (Wu et al., 2015) quien estudia la influencia entre decisores con las medidas de cercanía propias del análisis de redes sociales (SNA por su siglas en inglés para Social Network Analysis). Por otra parte (Wu and Chiclana, 2014; Wu et al., 2015) propone el análisis de redes



## 1.1 Contexto

---

sociales para medir consensos y confianza entre los decisores.

Bajo la premisa de desarrollar una metodología que pueda replicarse de forma sencilla, el aporte original de este proyecto es:

*Desarrollar una metodología sencilla para análisis y medición de influencia e importancia de los participantes (actores o grupos de interés) como herramienta para gestionar el cambio de preferencias y la persuasión de los expertos mediante herramientas computacionales para calcular medidas de consenso en diferentes niveles; adicionalmente se destaca el uso de herramientas que mejoran los problemas de visualización y verbalización en entornos dinámicos de decisión mediante la modificación de la técnica DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) y la propuesta de una medida de cercanía para determinar importancia de los participantes mediante SNA (Social network analysis).*

Finalmente, la validación de la metodología planteada en este documento se realiza en Boyacá (zona centro del país) debido a motivación personal hacia la conservación del parque Nacional Natural El Cocuy. También es importante indicar que la metodología es aplicable en variados contextos de toma de decisiones multicriterio grupal y no únicamente en gestión ambiental, esta área temática fue seleccionada como área de validación debido al interés académico creciente e impacto social que son justificados en el planteamiento del problema de investigación.

## 1.2. Productos de investigación del documento de tesis

Los productos académicos fruto de esta investigación se listan en la Tabla 1-2 a continuación:

**Tabla 1-2:** Productos del documento de tesis

Producto	Publicación	Evidencia
Influence Analysis in Group Decision Making. A DEMATEL-SNA Comparison in Environmental Management. Case Study: El Cocuy National Park	Memorias MCDM2015	<a href="http://www.\acrshort{MCDM}society.org/conferences/\acrshort{MCDM}-2015/BOA-24.08.2015.pdf">http://www.\acrshort{MCDM}society.org/conferences/\acrshort{MCDM}-2015/BOA-24.08.2015.pdf</a>
Environmental problem management through multi criteria decision analysis and Social Network Analysis. Case Study: El Cocuy National Park	Memorias EURO2015	<a href="https://www.euro-online.org/media_site/reports/EURO27_AB.pdf">https://www.euro-online.org/media_site/reports/EURO27_AB.pdf</a>
A Set Cover Problem Approach for Improving Consensus and Consistency in Large (AHP) Group Decision Making	Memorias MCDM2019	<a href="https://\acrshort{MCDM}2019.files.wordpress.com/2019/06/book-of-abstracts-web-6.pdf">https://\acrshort{MCDM}2019.files.wordpress.com/2019/06/book-of-abstracts-web-6.pdf</a>
Influence Analysis in Consensus Search — A Multi Criteria Group Decision Making Approach in Environmental Management	International Journal of Information Technology & Decision Making Vol. 15, No. 04, pp. 791-813 (2016)	<a href="https://doi.org/10.1142/S0219622016400034">https://doi.org/10.1142/S0219622016400034</a>
A Triad Census Approach for Improving Consensus and Consistency in Group Decision Making Problems	Enviado a Q1	Enviado para publicación (ver anexo A)
Influence Networks based Methodology for Consensus Reaching in Group-Decision-Making Problems	CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org) ICAI2019	<a href="http://ceur-ws.org/Vol-2486/icaiw_istihmr_2.pdf">http://ceur-ws.org/Vol-2486/icaiw_istihmr_2.pdf</a>
A review on Consensus Group Decision Making.	Enviado a Q1	Enviado para publicación (ver anexo A)

### 1.3. Estructura del documento de tesis

El capítulo 2 de este documento reúne los antecedentes de toma de decisiones Multicriterio, influencia en análisis de decisiones grupales y análisis de decisión en la gestión ambiental. El capítulo 3 expone el problema de investigación, vacíos temáticos en el área de estudio y la forma de abordar este problema. El capítulo 4 muestra la metodología desarrollada incluyendo las técnicas más utilizadas en cada contexto de decisión. El capítulo 5 muestra la prueba de la metodología en un caso de estudio y, finalmente, el capítulo 6 reúne las conclusiones principales y realiza una discusión corta sobre los puntos a destacar en el documento.

### 1.4. Principales Aportes del documento de tesis

- *Se caracterizó la evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en toma de decisiones multicriterio grupal.*
- *Se mostró la taxonomía de la toma de decisiones grupal*
- *Mediante el análisis de la bibliografía se identificaron los principales autores y los artículos mas importantes en el tema.*
- *Se propuso una metodología para búsqueda de consenso suave, utilizando redes de influencia entre los participantes y un algoritmo de censo de triadas para identificar las triadas mas inconsistentes en el problema. Ayudando con esto a solucionar inconvenientes expuestos en la revisión bibliográfica en temas de asesoramiento (ayudando a reducir inconsistencia con el censo de triadas), visualización y verbalización del proceso (con el uso de análisis de redes y cálculo de centralidad), importancia de los expertos (mediante una medida de importancia basada en SNA y modificando el método DEMATEL), contextos dinámicos de decisión (al tener que cambiar valoraciones en problemas*

*grandes), y persuasión (ayudando a reducir inconsistencia con el mínimo cambio sobre las opiniones sobre las triadas mas inconsistentes para lograr acuerdos).*

Los objetivos generales del campo son proporcionar procedimientos para garantizar que las decisiones colectivas sean tan buenas como sea posible, y para estudiar la naturaleza de los problemas estructurales, estratégicos, tácticos, sociales y psicológicos enfrentados por los individuos al tomar decisiones grupales. Este campo combina enfoques de investigación de operaciones, informática, psicología, economía política, ingeniería de sistemas, y muchos otros, incluido el análisis de decisión multi-criterio (MCDA). Según el Manual de Toma de Decisiones Grupales la literatura sobre análisis de decisión Multicriterio (MCDA) ofrece numerosos métodos que ayudan a quienes toman las decisiones frente a los problemas que se caracterizan por tener tanto criterios como objetivos múltiples.

# Capítulo 2

## Estado del arte

### 2.1. Introducción a la toma de decisiones multicriterio

Según (Romero and Pomerol, 1997) la toma de decisiones es un proceso mediante el cual individuos u organizaciones se ven enfrentados a decisiones difíciles por las consecuencias que puede generar el escoger una alternativa u otra; como también decisiones en las cuales influyen una variedad de criterios que apoyan o rechazan la selección de ciertas alternativas. Estas decisiones según se caracterizan por: presentar intereses en conflicto, tener elementos de incertidumbre, involucrar distintas personas en la decisión y poseer elementos fácilmente medibles y elementos difícilmente medibles.

#### 2.1.1. Agentes que intervienen en el proceso

Los problemas de toma de decisiones multicriterio discreta principalmente presentan dos agentes, el analista y el decisor (Romero and Pomerol, 1997). El primero es el encargado de realizar el modelo de todo el proceso de toma de decisiones y el segundo es aquel que toma la decisión, cuya opinión refleja las preferencias sobre los diferentes criterios de decisión. El decisor puede ser una persona o un grupo de personas, quienes influyen directamente sobre

la decisión o se consideran expertos en la temática que quiere solucionar un problema. A continuación se presenta una breve descripción de los agentes que intervienen en el proceso.

### **Decisores y analistas**

El decisor es una persona enfrentada a una decisión o un grupo de personas. De acuerdo a (Romero and Pomerol, 1997) el decisor es el sujeto encargado de analizar una decisión, aun cuando esta se le escape o sea tomada posteriormente según procedimientos que ignoran o incluso desaprueban. Por otra parte el analista es quien modela todo el proceso de decisión.

### **Expertos**

Un experto es una persona que tiene habilidades o conocimientos especiales en algún campo en particular; según (Saaty and Peniwati, 2013) los expertos son extraños que no pertenecen al grupo, aunque pueden provenir de la organización. La ventaja de utilizar expertos es que mejora la calidad y la confiabilidad de la decisión sin sobrecargar al grupo con demasiados especialistas o tener que preocuparse por cómo se relacionan personalmente con un experto en particular. Un grupo generalmente invita a expertos a evaluar alternativas o elementos en el modelo que ya han sido identificados por el grupo. Estas evaluaciones pueden incluir juicios cuantitativos o cualitativos.

### **Grupos de Interés**

Un grupo de interés esta compuesto por múltiples participantes que cuentan con opiniones o intereses compartidos.

### **Participantes: novatos o expertos**

James Surowiecki, autor de *The Wisdom of Crowds*, observa: “Si bien los grupos grandes a menudo son buenos para resolver ciertos tipos de problemas, los grupos grandes también

## 2.1 Introducción a la toma de decisiones multicriterio

---

pueden ser inmanejables e ineficientes. Por el contrario, los grupos pequeños tienen la virtud de ser fáciles de manejar, pero corren el riesgo de tener muy poca diversidad de pensamiento y demasiado consenso ”(Surowiecki, 2005). Existe acuerdo con que ”la diversidad y la independencia son importantes porque las mejores decisiones colectivas son producto de desacuerdos y disputas, no de consenso o compromiso”. Se parte del supuesto que el grupo se compone de personas que conocen el problema. Dada una tarea, se deben obtener las diferentes perspectivas del grupo y luego representarlas en términos de consenso sobre un tema específico.

### 2.1.2. La matriz de decisión

La matriz  $d_{i,j}$  (ver Tabla 2-1) o matriz de decisión expresa en sus filas las cualidades de la alternativa  $i$  con respecto a los  $n$  criterios considerados. Cada columna  $j$  muestra las evaluaciones hechas por el decisor de cada alternativa considerada con respecto al atributo  $j$ . Sean  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  y  $C = (c_1, c_2, \dots, c_m)$  el conjunto de alternativas y el conjunto de criterios que representa una situación de decisión. Entonces, la matriz de decisión puede expresarse como:

**Tabla 2-1:** Matriz de decisión

Alternativas	Criterios			
$(x_i)$	$C_1$	$C_2$	...	$C_m$
$x_1$	$y_{1,1}$	$y_{1,2}$	...	$x_{1m}$
...	...	...		...
$x_n$	$y_{n,1}$	$y_{n,2}$		$y_{n,m}$

### 2.1.3. Alternativas y criterios

Según (Belton and Stewart, 2002) el conjunto de alternativas se denomina también conjunto de elección y se define como el conjunto finito de proyectos, candidatos, ubicaciones, planes entre los cuales se piensa elegir. Conforman el conjunto opciones posibles sobre las que el decisor realiza una decisión. El conjunto de alternativas es designado por  $(A = A_1, A_2, \dots, A_m)$  donde  $(A_i, i = (1, \dots, m))$  son cada una de las alternativas posibles y se da por supuesto que estas alternativas son diferentes, excluyentes y exhaustivas (Romero, 1993). Los criterios por otra parte constituyen los ejes de evaluación sobre las diferentes alternativas, un criterio expresa las preferencias de los decisores. Siempre se supone que los criterios  $(C = C_1, C_2, \dots, C_j \dots C_n)$  finito. Los criterios pueden ser unidades fácilmente medibles y cuantificables, o también pueden ser juicios de valor de personas o atributos cualitativos de las decisiones.

#### Número de alternativas y criterios adecuados para el problema

Esta sección aclarar primero el tipo de información que se está tratando en el problema que aborda la investigación. En cuanto a técnicas que utilicen información cuantitativa como valoraciones en la matriz de decisión  $d_{ij}$ , no existe un número máximo de alternativas  $a_j$  ni de criterios  $c_i$  dado que la información se trata con medidas de cercanía y no requiere el juicio de personas. Por otra parte, las técnicas que involucran valoraciones dadas por personas (seres humanos) se rigen bajo los límites de respuesta de las mismas. De acuerdo a (Escobar and Moreno-Jiménez, 1997) métodos como el proceso analítico jerárquico, requiere conforme a consideraciones psicológicas que el número de elementos para los que se efectúan las comparaciones relativas no sea superior a  $7 \pm 2$  (Miller, 1956). Cuando este valor supera el número de Miller ( $7 \pm 2$ ), el método de proceso analítico jerárquico recurre al uso de medidas absolutas perdiendo su mayor valor respecto al uso de medidas relativas.



### 2.1.4. Asignación de Pesos

Los pesos o ponderaciones son las medidas de la importancia relativa que los criterios tienen para el decisor. Asociado a los criterios, se asigna un vector de pesos  $w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$  siendo  $n$  el número de criterios. En (Romero, 1993) se puede encontrar los principales métodos de asignación de pesos a los criterios entre los cuales están la suma ponderada, el producto ponderado, la entropía, asignación directa y el método eigen-pesos. A continuación se presentan dos de las técnicas más populares.

#### Eigen-pesos

Tiene como principal representante al proceso analítico jerárquico, en donde se obtienen los pesos como el auto-vector dominante de una matriz de comparaciones por pares de tamaño  $n \times n$ . A continuación se muestran los pasos para llevarlo a cabo:

- Se obtiene del decisor la matriz de comparaciones binarias  $A$ .

$$\begin{array}{c|ccc}
 A & A_i & A_j & A_k \\
 \hline
 A_i & 1 & a_{ij} & a_{ik} \\
 A_j & 1/a_{ij} & 1 & a_{jk} \\
 A_k & 1/a_{ik} & 1/a_{jk} & 1
 \end{array} \tag{2.1}$$

Cada una de las valoraciones se da mediante la escala de Saaty:

**Tabla 2-2:** Escala verbal de Saaty Fuente:(Saaty, 1977)

Intensidad Relativa	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro

**Table 2-2 Continua de la pagina anterior**

<b>Intensidad Relativa</b>	<b>Definición</b>
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro

Los valores 2, 4, 6 y 8 son valores intermedios que pueden utilizarse en algunos casos. El siguiente paso es encontrar las prioridades relativas de los criterios y/o las alterativas. Este paso se basa en la teoría del eigenvector. Por ejemplo si una matriz de comparación es  $A$ , entonces:

- Se calcula el auto vector dominante  $w$  al elevar la matriz  $A$  a una potencia de un numero grande (aunque 4 es suficiente para conseguirlo) y normalizando el promedio de sus filas. También se calcula su ratio de consistencia  $CR$ .

$$Aw = \lambda_{\text{máx}}w \tag{2.2}$$

Donde  $w$  corresponde al vector columna de los pesos relativos que se obtienen realizando el promedio de cada renglón de la matriz de comparación normalizada. La normalización de la matriz se realiza dividiendo cada uno de los elementos de cada columna por la suma de todos los elementos de la misma. El valor de  $\lambda_{\text{máx}}$  se obtiene al sumar el vector columna correspondiente a la multiplicación de la matriz de comparación original con el vector columna de pesos relativos.

$$\lambda_{\text{máx}} = \sum_i^n Aw \tag{2.3}$$

Debido a que las comparaciones se realizan subjetivamente, se requiere de un índice de consistencia para medir la coherencia de quien realiza las calificaciones. El índice de consistencia se calcula de la siguiente manera:

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \tag{2.4}$$

## 2.1 Introducción a la toma de decisiones multicriterio

---

La relación de consistencia CR se calcula de la siguiente forma:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.5)$$

En donde el ratio de inconsistencia RI es una constante de comparación que depende del tamaño de la matriz de comparación pareada para tamaños de  $n=9$  (nuestra matriz de criterios x criterios)  $RI = 1.45$

- Si  $CR < 10\%$  se acepta  $w$ . Si no, se le pide al decisor que cambie las valoraciones inconsistentes.

### Entropía

El calculo de la entropía fue propuesto por Milan Zeleny en 1982 (Zeleny, 1982) como un método objetivo de asignación de pesos ya que estos se determinarían en función de la información cuantitativa presente en la matriz de decisión. La idea central del método es que cuanto mas diversa sea la información presente en el criterio  $j$ , mayor importancia deberá tener este criterio en cuanto a la decisión final. Este método se basa en la propuesta de calculo de entropía en la teoría matemática de la comunicación propuesta anteriormente por (Shannon and Weaver, 1948). Los pasos para aplicar esta técnica se presentan a continuación:

- El primer paso es normalizar la matriz de decisiones  $d_{ij}$  mediante la fracción de la suma  $\sum_i d_{ij}$  de las valoraciones de cada criterio  $j$ .
- Se calcula la entropía  $E_j$  de cada criterio:  $E_j = -k \sum_i d_{ij} \log d_{ij}$ . Donde  $m$  es el numero de alternativas y  $k = 1/\log m$ .
- Dado que la entropía es mayor cuanto mas similar es la información en cada criterio, necesitamos entonces una medida opuesta, la cual se llama diversidad  $D_j$  y se obtiene:  $D_j = 1 - E_j$ .

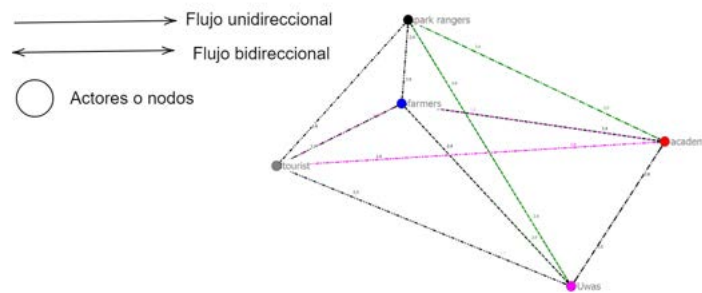
- Finalmente, el peso de los criterios  $w_j$  se obtiene al normalizar la diversidad utilizando la fracción de la suma:  $w_j = D_j / \sum_j D_j$ .

### 2.1.5. Tratamiento de información cuantitativa/cualitativa y selección de técnicas

Una vez se han seleccionado los criterios para el problema, debemos entenderlos como funciones de pago independientes que se desean maximizar o minimizar. Dichas funciones se deben ponderar respecto a cada alternativa de forma cualitativa o cuantitativa según sea el caso tomando en cuenta el interés principal del decisor. Por ejemplo, un proceso de selección de un proponente en una licitación, es prudente evaluarlo de forma cuantitativa en cuanto a años de experiencia o capital disponible. Por otra parte evaluar un criterio como belleza es mucho más complicado de manera cuantitativa, por lo tanto es más sencillo expresarlo como juicio de valor mediante una escala. Existen métodos que toman únicamente información cuantitativa y dada la diferencia en varias medidas de distancia entre sus valoraciones se puede asignar una importancia de los criterios del problema (método de la entropía por ejemplo) y un escalafon de las alternativas (TOPSIS o VIKOR). Cuando se trabaja con información cualitativa (o se quiere expresar el juicio de valor de los interesados) es mas prudente trabajar con escalas que representen la intensidad de sus pensamientos o sentimientos (por ejemplo el método de comparaciones pareadas que utiliza la técnica del proceso analítico jerárquico). Aunque existen una gran variedad de técnicas para toma de decisiones multicriterio, se muestran a continuación las más utilizadas para solucionar problemas con juicios de valor y con información cuantitativa. Adicionalmente puede encontrar en el Anexo 2 un manual para agregar y utilizar un paquete de toma de decisiones que incluye los métodos mencionados a continuación.

### Análisis de redes sociales

Una red social puede considerarse como un conjunto de personas (o incluso grupos de personas) que participan e interactúan compartiendo diferentes tipos de información con fines de amistad, marketing o intercambio de negocios. El modelado de redes sociales se refiere al análisis de las diferentes estructuras en la red para comprender el patrón subyacente que puede facilitar o impedir la creación de conocimiento en este tipo de comunidades interconectadas. Se define entonces una red social como un grafo  $G = \{E, V\}$  donde  $E$  es el conjunto de nodos y  $V$  es el conjunto de arcos



**Figura 2-1:** Elementos básicos de una red social. Fuente: (Borgatti et al., 2018)

El Análisis de redes sociales (SNA por sus siglas en inglés) se basa en la teoría de grafos, permite medir la fuerza de los vínculos (flujos de información o influencia) entre nodos (partes interesadas) para obtener diferentes valores de centralidad, prestigio y poder para cada uno de ellos. La centralidad es el índice más utilizado para analizar la influencia de los individuos. Hemos elegido la centralidad de proximidad de los nodos como los indicadores de SNA más apropiados para evaluar la influencia de las partes interesadas e Indica qué tan cerca está un nodo de los otros nodos de la red (distancia geodésica).

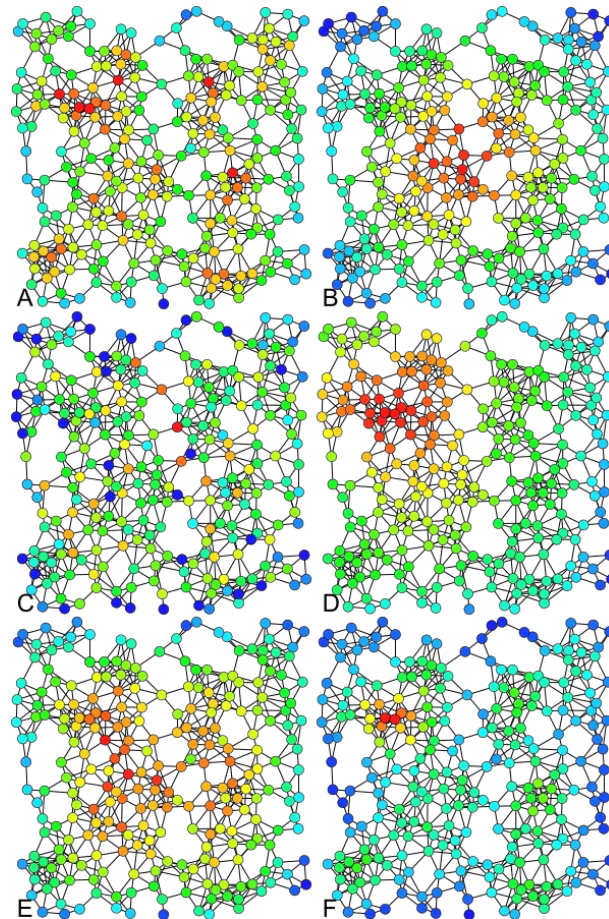


Figura 2-2: Medidas de centralidad<sup>1</sup>

Un actor es central si puede interactuar rápidamente con todos los demás actores (En la Figura 2-2 el color rojo indica mayor centralidad y el azul representa elementos mas periféricos). En la Figura 2-2 pueden observarse las principales medidas de centralidad las cuales son: **A** - Centralidad de grado, **B** - Centralidad de cercanía, **C** - Centralidad de intermediación, **D** - Centralidad de vector propio, **E** - Centralidad de Katz **F** - Centralidad Alfa. Los actores que tienen un alto índice de cercanía tienen muchas relaciones directas con varios miembros de la red. Cuanto mayor sea la centralidad de la proximidad de un nodo, más rápido podrá

<sup>1</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Centrality.svg>

## 2.1 Introducción a la toma de decisiones multicriterio

---

interactuar con los demás actores. A continuación se detallan algunos de los principales índices de centralidad que de acuerdo a (Sun and Tang, 2011) se pueden utilizar para analizar la importancia e influencia de los stakeholders.

**Centralidad de Grado** Se refiere al número de conexiones que tiene un nodo. Sea  $A$  ser la matriz de adyacencia de una red, y  $deg(i)$  será el grado del nodo  $i$ . El grado de centralidad  $c_i^{DEG}$  del nodo  $i$  es definido como el grado del nodo:

$$c_i^{DEG} = deg(i) \quad (2.6)$$

**Cercanía** La medida de centralidad de cercanía se basa en la longitud de las conexiones (Freeman, 1978). Mide la centralidad calculando el promedio de las distancias más cortas a todos los demás nodos. Entonces, la cercanía centralidad  $c_i^{CLO}$  del nodo  $i$  se define de la siguiente manera:

$$c_i^{CLO} = e_i^T S \mathbf{1} \quad (2.7)$$

**Intermediación** El concepto de intermediación está relacionado con los nodos que abarcan agujeros estructurales en una red social. Mide cuánto se encuentra un nodo dado en las rutas más cortas de otros nodos. La centralidad de intermediación  $c_i^{BET}$  del nodo  $i$  se define de la siguiente manera:

$$c_i^{BET} = \sum_{j,k} \frac{b_{jik}}{b_{jk}} \quad (2.8)$$

**Centralidad de Katz** Otra clase de medidas se basa en el comportamiento de difusión en la red. La centralidad de (Katz, 1953) cuenta el número de caminatas comenzando desde

un nodo mientras penaliza caminatas más largas. Más formalmente, la centralidad de  $c_i^{KATZ}$  del nodo  $i$  se define de la siguiente manera:

que para un nodo cuenta el número de todos los otros nodos que están conectados con él a través de un camino, al mismo tiempo que se penalizan las conexiones con nodos más distantes por medio de un factor  $\beta \in (0, 1)$

$$c_i^{KATZ} = e_i^T \left( \sum_{j=1}^{\infty} (\beta A)^j \right) \mathbf{1} \quad (2.9)$$

**Centralidad de Vector propio** La centralidad del vector propio se puede describir desde varias perspectivas diferentes . Lo presentamos aquí como una variación de grado de centralidad en la que contamos el número de nodos adyacentes a un nodo dado (al igual que el grado de centralidad), pero ponderamos cada nodo adyacente por su centralidad:

$$e_i = \lambda \sum_j x_{ij} e_j \quad (2.10)$$

donde  $e$  es la puntuación de centralidad del vector propio y  $\lambda$  (lambda) es una constante de proporcionalidad llamada valor propio. La ecuación básicamente dice que la centralidad de cada nodo es proporcional a la suma de las centralidades de los nodos a los que está adyacente; en efecto, cuando se trata de la centralidad del vector propio, un nodo es tan central como su red.

**Centralidad de Bonacich** Una ligera variación de la medida de Katz es la centralidad de Bonacich que permite valores negativos de  $\beta$ . La centralidad de Bonacich  $c_i^{BON}$  del nodo  $i$  se define de la siguiente manera:

$$c_i^{BON} = e_i^T \left( \frac{1}{\beta} \sum_{j=1}^{\infty} (\beta A)^j \right) \mathbf{1} \quad (2.11)$$



**Centralidad de Hubbell** Las centralidades de Katz y Bonacich son casos especiales de la centralidad de Hubbell. La centralidad de Hubbell  $c_i^{HUB}$  del nodo  $i$  está definida para ser Una generalización que incluye a las centralidades de Katz y Bonacich es la centralidad de Hubbell, definida formalmente como:

$$c_i^{HUB} = e_i^T \left( \sum_{j=0}^{\infty} X^j \right) \mathbf{y} \quad (2.12)$$

**Intermediación de Newman**

$$c_i^{NBE} = \sum_{j \neq i \neq k} R_{jk}^{(i)} \quad (2.13)$$

### Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)

Su nombre traduce: Laboratorio de prueba y evaluación de toma de decisiones, fue desarrollado por (Fontela and Gabus, 1974; Fontela and Gabus, 1976) basado en modelos estructurales para resolver problemas complicados y entrelazados. Según (Lin and Wu, 2008), este método tiene su núcleo en la teoría de grafos que puede dividir múltiples criterios en un grupo de causa y efecto y las relaciones causales en una red. Esta técnica tiene un uso extendido, por lo que puede calcular las relaciones entre los criterios para problemas de red analítica y otros métodos MCDM. En este método, cada nodo representa un elemento de evaluación (como criterios, personas, alternativas, entre otros), y los arcos representan la fuerza de sus relaciones. Primero, usando una escala de cuatro valores donde cada factor influyente se denota por:

- No influencia  $\rightarrow 0$
- Baja influencia  $\rightarrow 1$

- Media influencia  $\rightarrow 2$
- Alta influencia  $\rightarrow 3$
- Muy alta influencia  $\rightarrow 4$

Se extiende una invitación a un grupo de expertos indicados como  $H_i$  para obtener las matrices de influencia directa  $B_H$ . Todos los que toman decisiones emiten sus juicios sobre los elementos de evaluación con la escala presentada anteriormente.

$$B_H = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} & b_{1n} \\ b_{21} & 0 & b_{2n} \\ x_{n1}^k & x_{n2}^k & 0 \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

Donde  $b_{i,j}$  representa la matriz de influencia directa determinada por el experto  $H - th$ .

Luego, calculamos la matriz promedio como la media aritmética de todas las matrices  $B_H$ .

$$A = [b_{ij}]_{n \times n} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{12}^h & \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{1n}^h \\ \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{21}^h & 0 & \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{2n}^h \\ \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{n1}^h & \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{n2}^h & 0 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Donde  $A$  es la matriz promedio. Luego, usando eq2.16 normalizamos la matriz promedio  $A$ . La matriz de relación directa inicial normalizada  $R$  se puede obtener de la siguiente manera:

$$R = \frac{1}{v} A \quad (2.16)$$

Donde el factor de normalización  $v$  viene dado por

$$v = \max_{i,j=1,\dots,n} \left\{ \sum_{j=1}^n b_{ij}, \sum_{i=1}^n b_{ij} \right\} \quad (2.17)$$

Más tarde, calculamos la matriz de relación total  $T$ . Los poderes de  $R$  representan los efectos indirectos entre cualquier factor. Una disminución continua de los efectos indirectos de los

## 2.1 Introducción a la toma de decisiones multicriterio

---

factores junto con las potencias de la matriz  $R$ , como  $R^2, R^3, R^4, \dots, R^n$  como una matriz de cadena de Markov, garantiza soluciones convergentes para la inversión de la matriz. Entonces, la matriz de relación total  $X$  se da de la siguiente manera:

$$T = R + R^2 + R^3 + \dots = R(I - R)^{-1} \quad (2.18)$$

Donde  $I$  es  $n \times n$  matriz unitaria.

El efecto total que ejerce directa e indirectamente el factor  $i$ -ésimo se denota por  $r_i$ , podría calcularse de la siguiente manera:

$$r_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (2.19)$$

El efecto total, incluidos los efectos directos e indirectos recibidos por el factor  $j$ -ésimo, identificación identificada por  $c_j$  podría calcularse de la siguiente manera:

$$c_j = \sum_{i=1}^n t_{ij} \quad (2.20)$$

### VIKOR

El método VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje que traduce del bosnio, Optimización Multicriterio y Solución de Compromiso al cual nos referiremos de aquí en adelante como VIKOR fue desarrollado en 1998 por Serafim Opricovic como un método de Análisis Multicriterio para la optimización de sistemas discretos complejos con criterios conflictivos e incommensurables (Opricovic and Tzeng, 2007) Según (Quijano Hurtado et al., 2012) citando a (Opricovic, 1998) el método Vikor determina el escalafon de alternativas, la solución de compromiso y los intervalos de estabilidad para la solución de compromiso obtenida con los pesos iniciales dados. Este método clasifica un conjunto de alternativas con criterios en conflicto y selecciona la alternativa de compromiso, entendida como la Alternativa

que se encuentra más cercana a la ideal y más lejana de la peor de ellas. Este método da como resultado un escalafon multicriterio basado en la particular medida de “cercanía” a la solución “ideal”. Suponiendo que cada alternativa se evalúa de acuerdo con cada función de criterio, la clasificación de compromiso podría llevarse a cabo mediante la comparación de la medida de proximidad a la alternativa ideal. La medida multicriterio para la clasificación de compromiso se desarrolla a partir de la Lp-métrica utilizada como una función de agregación en un método de programación de compromiso (Yu, 1973; Zeleny, 1982) La solución del método VIKOR comienza con la siguiente forma de la Lp- métrica:

$$L_{p,j} = \left\{ \sum_{i=1}^n [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)]^p \right\}^{1/p} \quad (2.21)$$

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

Este concepto general de distancia Lp (eq 2.1.5) representa en el método VIKOR las distancias de manhattan y de chevishev para el cálculo de  $S_j$  y  $R_j$ . En el primer caso para el cálculo de  $S_j$  se utiliza la norma L1 donde  $p=1$  correspondiente a la medida de mayor distancia entre dos puntos. En el segundo caso para calcular  $R_j$  se utiliza la distancia de Chevysev o norma  $L_\infty$  que se refiere a la menor distancia entre dos puntos donde  $p = \infty$  (Opricovic and Tzeng, 2004).

Los pasos para aplicar VIKOR se describen a continuación:

- Partiendo de la matriz de decisión sin normalizar (con la información cuantitativa inicial) se determina la cercanía a la solución ideal  $F^*$ . Para esto, se calculan los mejores  $f_i^*$  y peores  $f_i^-$  valores sobre cada vector de criterios  $C_i = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ . Por ejemplo, si la  $n$ -ésima función resulta un beneficio para la decisión entonces:  $f_i^* = \max f_{ij}$  y  $f_i^- = \min f_{ij}$ .
- Una vez calculados los mejores y peores valores para cada función de criterio, se compu-

## 2.1 Introducción a la toma de decisiones multicriterio

---

tan los valores de  $S_j$  y  $R_j$  mediante las relaciones:

$$S_j = \sum_{i=0}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (2.22)$$

$$R_j = \max_i [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (2.23)$$

Donde  $S_j$  distancia ponderada y normalizada de Manhattan y  $R_j$  es la distancia de Chebyshev ponderada y normalizada;  $w_i$  son los pesos de los criterios, expresando la preferencia del decisor como importancia relativa de los criterios (en este paso debemos obtener previamente los valores de  $w_i$  mediante algún método de asignación de pesos, como eigen-pesos o entropía, entre otros).

- Se calculan los valores de  $Q_j$ , mediante la relación:

$$Q_j = v (S_j - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - v) ((R_j - R^*) / (R^- - R^*)) \quad (2.24)$$

Donde  $S^* = \min(S_j, j = 1, \dots, J)$ ,  $S^- = \max(S_j, j = 1, \dots, J)$ ,  $R^* = \min(R_j, j = 1, \dots, J)$ ,  $R^- = \max(R_j, j = 1, \dots, J)$ ; y se introduce  $v$  como una ponderación para la estrategia de máxima utilidad grupal, mientras que  $1 - v$  es la ponderación del arrepentimiento individual. Normalmente el valor de  $v$  se toma como 0.5 para representar una posición neutra frente al riesgo aunque se puede tomar cualquier valor de 0 a 1.

- Ordenar las alternativas, organizándolas según los valores de  $S$ ,  $R$  y  $Q$  en orden decreciente. Los resultados obtenidos son tres listas ordenadas. Proponga como solución de compromiso la alternativa  $A(1)$ , la cual es la mejor de todas según la medida  $Q$  (mínimo), si se cumplen las siguientes condiciones:

**Ventaja aceptable.**  $Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq DQ$ , donde  $DQ=1/(J-1)$  y  $A^{(2)}$  es la alternativa que ocupa la segunda posición en la lista ordenada por valor de  $Q$ .

**Estabilidad aceptable en la decisión.** La alternativa  $A^{(1)}$  deberá ser también la mejor en las listas  $S$  y/o  $R$ .

### 2.1.6. El voto y la elección social

Según (Romero and Pomerol, 1997) existen también, dos modelos relacionados con la toma de decisiones multicriterio. En términos cronológicos, como se muestra mas adelante aparece el modelo de votación, el cual plantea una sociedad compuesta por varios miembros que deben escoger un candidato o un condenado. Otro modelo similar es el de la elección social donde seguimos contando con una sociedad con  $n$  agentes y un conjunto de elección donde la clasificación de consenso se llama elección social. Uno de los métodos mas utilizados es el conteo de Borda el cual se explica a continuación.

#### El conteo Borda

Este método se basa en la idea de asignar un peso a partir de 1 a  $n$  para las enésimas alternativas que tenemos para el problema de toma de decisiones, es por eso que asignamos un peso de  $n$  para la mejor alternativa y 1 para la peor alternativa en Nuestro problema de decisión. Una vez que tenemos los vectores para cada criterio, los normalizamos para obtener valores  $V_i \in [0, 1]$  con una suma de componentes de  $\sum V_i = 1$  (de Borda, 1781).

### 2.1.7. Deficiencias del sistema de votación tradicional

De acuerdo con (Saaty and Peniwati, 2013) el método tradicional de votación requiere que los votantes elijan entre “sí” y “no” como alternativa. Muchos consideran que este método de votación por mayoría (1-0) es una ley natural indiscutible. Es porque, hasta ahora, no hemos encontrado una forma de votar que sea más práctica y que represente mejor las verdaderas preferencias de los tomadores de decisiones. De acuerdo con el análisis de Saaty, existen cuatro deficiencias importantes:

- *”Primero, con un voto mayoritario, los individuos no pueden expresar su verdadera preferencia por el tema de un debate sin finalmente tomar la posición más extrema*

## 2.1 Introducción a la toma de decisiones multicriterio

---

*votando a favor o en contra. Una persona puede preferir un tema sobre su opuesto solo en una proporción del 51 al 49 por ciento. Sin embargo, cuando esa persona vota, el voto se registra como definitivamente a favor (= 1) o definitivamente en contra (= 0). Si muchas personas votan con sentimientos tibios, el resultado indica una victoria más fuerte de lo que se justifica en la práctica. La toma de decisiones en tales circunstancias está sujeta a un sesgo extremo.”*

- *“Segundo, cuando los asuntos involucrados son de interés público, puede no ser apropiado resolverlos a través del proceso familiar de votación competitiva. El peligro de basar las decisiones en el recuento de personal es que la dinámica de ganar/perder puede no ser buena para los casos en que el éxito depende de la cooperación y el trabajo en equipo. El método del ganador se lleva todo puede ser apropiado para una sociedad que enfrenta una guerra y busca ganar, pero, tal vez, no es tan adecuado cuando el esfuerzo de colaboración es esencial para llevarse bien.”*
- *“Un tercer defecto del sistema de votación sí-no es que la decisión derivada de un voto mayoritario puede dar como resultado un resultado opuesto al que desea la colectividad. Por ejemplo, supongamos que hay tres personas que votan por dos alternativas, A y B. Dos personas tienen intensidades de preferencia del 45 % para A y 55 % para B. La tercera persona tiene una intensidad de preferencia del 90 % para A y 10 % para B. Bajo el sistema de votación sí-no, B gana por mayoría simple 2:1. Si se tienen en cuenta las intensidades de preferencia, la intensidad de preferencia media para A y B (utilizando cualquiera de los dos métodos conocidos y propuestos matemáticamente, las medias aritméticas y geométricas) sería  $(0,45+0,45+0,90)/3 = 0,60$  y  $(0,55+0,55+0,10)/3 = 0,40$ ; y  $(0,45 * 0,45 * 0,90)^{1/3} = 57\%$  y  $(0,55 * 0,55 * 0,10)^{1/3} = 31\%$ , respectivamente. En consecuencia, A gana a B, exactamente lo contrario del enfoque sí-no.”*
- *“Una cuarta dificultad potencial surge al votar sobre varios temas al mismo tiempo*

*(efectos de la agenda). Cuando se encuentran varios problemas, el enfoque de votación tradicional toma cada tema por separado. Si las cuestiones están unidas (dependientes) hasta cierto punto, puede suceder que se elimine una cuestión anterior relacionada con lo que sigue, eliminando la posibilidad de influir con éxito en las demás, a menos que la cuestión anterior se vuelva a plantear para su reconsideración. Tal voto de sí o no a menudo impide que los tomadores de decisiones sigan una visión integral de los problemas en su conjunto. Entonces puede conducir a una cadena de políticas que es difícil de llevar a cabo o, en el mejor de los casos, hace que sea menos eficiente crear lo que el sentimiento público está pidiendo. Esto abre la compuerta para resultados inquietantes y paradójicos. Un mejor enfoque podría ser discutir todos los problemas relevantes simultáneamente y tomar decisiones sobre ellos con una clasificación de los problemas.”*

### **2.1.8. Juicios de valor y comparaciones versus asignación directa**

De acuerdo con (Saaty and Peniwati, 2013; Saaty, 2010; Saaty, 2019) un juicio es una expresión de una opinión propia. Una comparación es una expresión de una opinión sobre el dominio (importancia, preferencia o probabilidad) de una cosa sobre otra. La dominación representa la intensidad de la fuerza. Diariamente, expresamos verbalmente nuestros juicios con un significado cuantitativo sobre nuestras decisiones.

El ser humano posee habilidad de juicio, la cual utiliza de manera habitual mediante comparaciones por pares. Mediante estas comparaciones, determina cual de los dos elementos esta mejor valorado en cuanto a una propiedad específica. Los orígenes de las comparaciones por pares de manera contemporánea se remontan a (Fechner et al., 1966; Thurstone, 1994; Saaty, 1977). En su libro *The Process of Cognition* (Blumenthal, 1977), Arthur Blumenthal nos dice que hay dos tipos de juicio:

- Juicio comparativo: es la identificación de alguna relación entre dos estímulos presentes



## 2.1 Introducción a la toma de decisiones multicriterio

---

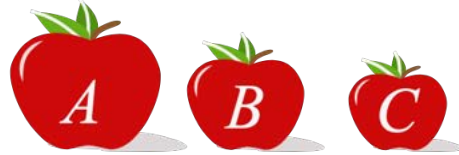
para el observador.

- **Juicio absoluto:** que involucra la relación entre un solo estímulo y alguna información almacenada en la memoria a corto plazo sobre algunos estímulos de comparación anteriores o sobre alguna escala de medición previamente experimentada con la cual el observador califica el estímulo único.

La asignación directa de valores a criterios tangibles e intangibles es un proceso que se dificulta en muchas ocasiones. En comparación con la asignación directa de pesos relativos a cada componente, la comparación por pares tiene ventajas que le dan al analizador una base sobre la cual revelar su preferencia al comparar dos elementos. La ventaja de la comparación por pares puede superar las deficiencias de la asignación directa de pesos que es fácil de juzgar mal para el analizador y puede dar lugar a imprecisiones. En su libro *El sentido numérico: cómo la mente crea las matemáticas*, el matemático y neuropsicólogo cognitivo Stanislas Dehaene (Dehaene, 2011) escribe: “La introspección sugiere que podemos representar mentalmente el significado de los números del 1 al 9 con agudeza real. De hecho, estos símbolos nos parecen equivalentes. Todos parecen igualmente fáciles de trabajar, y creemos que podemos agregar o comparar dos dígitos en un período de tiempo pequeño y fijo como una computadora. En resumen, la invención de los símbolos numéricos debería habernos liberado de la confusión de la representación cuantitativa de los números”, lo cual es el pilar fundamental de la escala propuesta por Saaty para realizar las comparaciones por pares. A continuación, se describe uno de los ejemplos utiliza para validar el uso de las comparaciones por pares para representar los juicios de valor de las personas y también medir la consistencia que tienen sobre los mismos.

Cada juicio representa el dominio de un elemento en la columna a la izquierda de la matriz sobre un elemento en la fila de arriba. Refleja las respuestas a dos preguntas: cuál de los dos elementos es más importante con respecto a un criterio de nivel superior y con qué fuerza. Supongamos que tenemos tres manzanas A, B, C y deseamos compararlas en pares

de acuerdo con su tamaño (ver Figura 2-3). Se sabe que sus tamaños son 12 pulgadas cúbicas, 6 pulgadas cúbicas y 2 pulgadas cúbicas respectivamente.



**Figura 2-3:** Comparación de tamaño de manzanas

La matriz 2.25 representa cómo se utilizan los valores relativos numéricos reales al comparar una manzana a la izquierda con una manzana en la parte superior de la matriz.

<i>Manzanas</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>A</i>	$12/12 = 1$	$12/6 = 2$	$12/2 = 6$
<i>B</i>	$6/12 = 1/2$	$6/6 = 1$	$6/2 = 3$
<i>C</i>	$2/12 = 1/6$	$2/6 = 1/3$	$2/2 = 1$

(2.25)

Como se observa en la matriz anterior, la diagonal es uno y los valores debajo de la diagonal son recíprocos a los valores de la comparación inversa sobre la diagonal. Los números a la derecha en cada celda nos dicen cuántas veces una manzana a la izquierda domina a una manzana en la parte superior con respecto a la propiedad del tamaño. Si un elemento de la izquierda es menos importante que el de la parte superior de la matriz, ingresamos el valor recíproco en la posición correspondiente en la matriz.

A partir de todas las comparaciones pareadas, calculamos las prioridades y las exhibimos a la derecha de la matriz. Para un conjunto de  $n$  elementos en una matriz, se necesitan  $n(n-1)/2$  comparaciones porque hay  $n-1$  en la diagonal al comparar elementos con ellos mismos y con los juicios restantes, la mitad son recíprocos. Así tenemos  $(n^2 - n)/2$  juicios. En algunos problemas, uno puede obtener solo el mínimo de juicios  $n-1$ . Si no tenemos las medidas,

tendríamos que estimar los tamaños relativos. Cuanto más expertos seamos, mejores serán las estimaciones. Pero aún así, nuestras estimaciones pueden no conformarse completamente (ser consistentes) con los valores obtenidos de las proporciones de las mediciones.

### 2.1.9. Decisiones grupales y jerárquicas

Un problema de toma de decisiones en grupo (GDM) se refiere a buscar soluciones colectivas al agregar las opiniones individuales.

$$(op^1, op^2, \dots, op^n) = op^c \quad (2.26)$$

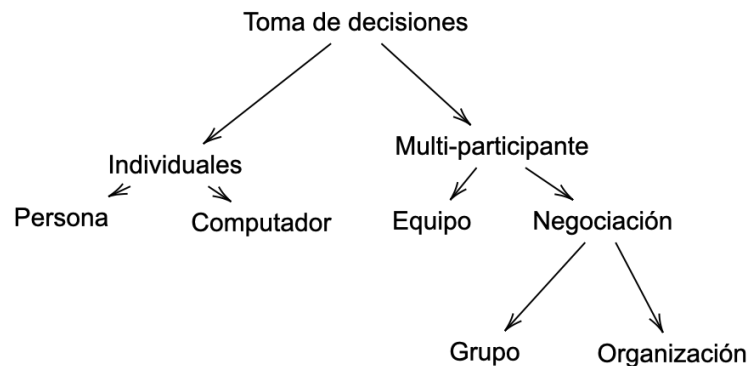
Donde el conjunto  $op = \{op^1, op^2, \dots, op^n\}$  refleja las opiniones de los decisores o grupos de interés involucradas en el problema de GDM. Ahora, dado que todos los contextos de decisión son diferentes, una cuestión crucial yace en la pregunta: quién tiene la responsabilidad de tomar la decisión?. En las decisiones grupales podemos clasificar los problemas previamente a su desarrollo en decisiones grupales donde tenemos decisores interesados en llegar a acuerdos o jerárquicas donde tenemos un decisor apoyado de un equipo. En la revisión bibliográfica podemos identificar dos clasificaciones de problemas de decisiones grupales, la primera es propuesta por (Jelassi et al., 1990) tal como se describe a continuación:

- **Toma de decisiones individuales en un entorno grupal.** El tomador de decisiones utiliza el conocimiento de expertos, asesores o partes interesadas durante el proceso. Todos los miembros del grupo participan en el proceso, pero solo una persona es responsable de la decisión tomada. Un ejemplo de tal caso es el de dos autoridades regionales, una que se ocupa de la situación ecológica y la otra responsable del desarrollo industrial (Goncalves, 1985).
- **Toma de decisiones jerárquicas o burocráticas.** Aquí hay dos casos a considerar: en el centralizado, se supone que hay un conjunto de objetivos que representan al

tomador de decisiones de nivel superior, y también que él tiene control total sobre los miembros del grupo de niveles inferiores. El modelo formal que corresponde a esta situación es el modelo de descomposición de (Dantzig and Wolfe, 1960). En el caso descentralizado, cada participante controla independientemente subconjuntos de las variables y objetivos de decisión y es responsable de su decisión, que sirve como entrada para el nivel superior. Existe un procedimiento de coordinación que garantiza la óptimidad de la decisión general.

- **Toma de decisiones grupales o toma de decisiones de partido.** Cada miembro del grupo participa en el proceso y es parcialmente responsable de la decisión final. Generalmente hay un objetivo general que es aceptado por todos los miembros, pero difieren en la forma en que se debe alcanzar este objetivo. El problema de decisión puede ser resuelto por un individuo, pero un grupo posee más recursos que cada uno de sus miembros, y el potencial para tomar decisiones efectivas es mayor (Gouran, 1982; Steiner, 1972).
- **Toma de decisiones o negociación de múltiples partes.** Un tomador de decisiones representa a una de las partes y es responsable de la decisión ante esta parte y no ante las otras. Existe un conflicto de intereses porque las partes tienen objetivos separados y conflictivos (Lewicki and Barcellos, 1977) y tienen diferentes necesidades que quieren satisfacer (Nierenberg, 1973). La negociación es la forma elegida para resolver un conflicto por necesidad y no por efectividad o eficiencia.

Una segunda clasificación propuesta por (Holsapple, 1991) puede verse a continuación en la Figura 2-4.

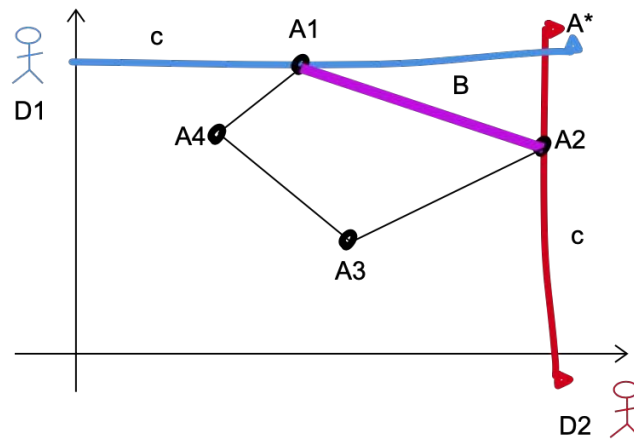


**Figura 2-4:** Tipos de decisores. Adaptado de (Holsapple, 1991)

Como puede verse en la Figura 2-4 esta clasificación de los tipos de problemas de toma de decisión según el decisor, también plantea al igual que (Jelassi et al., 1990) una división entre decisores individuales o multi-participantes, dentro de las multi-participante, plantea una división en equipos y negociación, donde los equipos están conformados por participantes decisivos y participantes de apoyo. Por otra parte, los problemas de negociación pueden ser grupales u organizacionales, donde los grupales se refieren a grupos con igual autoridad que se reúnen y los organizacionales se refieren a participantes con diferente autoridad y una coordinación altamente estructurada.

### 2.1.10. Disolución de conflictos y consenso suave

De acuerdo con autores como (Saaty and Peniwati, 2013; Zeleny, 1982) el conflicto ocurre cuando dos o más alternativas distintas  $A = A_1, A_2, \dots, A_m$ , seleccionadas como los medios para lograr los objetivos establecidos, son mutuamente excluyentes. Dado que la alternativa  $A^*$  no existe o no se considero surge un conflicto. Donde la barrera B representa la región de compromiso dada como un conjunto de negociación entre los decisores.



**Figura 2-5:** Disolución de conflictos entre decisores

El consenso suave es el nivel de acuerdo expresado como la similitud de las valoraciones sobre un ítem, y medido como la distancia entre las valoraciones. Consenso duro se refiere a la alternativa  $A^*$ , la cual presenta un estado ideal donde cada decisor obtiene el máximo beneficio posible.

### 2.1.11. Juicios humanos y toma de decisiones

Según (Hausdorff, 1906) los modelos se pueden representar de varias maneras. En el caso de problemas sencillos y repetitivos, todo el proceso de toma de decisiones puede ocurrir en la mente del decisor, quizás de manera informal e intuitiva. Todos los días caminamos, comemos y abrimos puertas sin necesidad de modelos formales. Si el problema es menos común o más complejo, pensamos un poco más acerca de él. Según (Saaty and Peniwati, 2013) la toma de decisiones requiere juicio. Este juicio depende de los sentimientos y pensamientos y en la capacidad de interpretar la información de los sentimientos y pensamientos que surgen de las cosas que suceden que son inherentemente tácitas, en atributos con diferentes niveles de

intensidad de la preferencia, de importancia, o de la probabilidad.

### **2.1.12. Tendencias en análisis de decisión grupal y negociación**

La toma de decisiones grupal se define como una situación donde hay más de un individuo involucrado. Los miembros del grupo tienen sus propias actitudes y motivaciones, reconocen la existencia de un problema común y tratan de alcanzar una decisión colectiva. Según (Hou, 2015) citando a (Arrow et al., 1953; Da Cunha and Polak, 1967; Keeney, 1968; Xu et al., 2014) la toma de decisiones grupales, GDM (por sus siglas en inglés Group decision making) es hoy en día un tema fascinante en investigación operativa o en ciencias administrativas. Las Decisiones Grupales y Negociación (GDN) son un campo académico y profesional que tiene como objetivo ayudar a los grupos o individuos dentro de los grupos, a interactuar y colaborar para llegar a una decisión colectiva. Según (Figueira et al., 2005) la toma de decisiones colectiva es abstracta, los procesos de decisión grupales y la negociación difieren en varios aspectos, siendo el más relevante su resultado. Por una parte los procesos de decisiones grupales buscan generalmente llegar a una solución entre varias posibles, por otra parte los procesos de negociación muchas veces no llegan a ningún acuerdo. Los procedimientos estructurados y sistemáticos para llegar a una decisión son ampliamente recomendados por (Linkov and Moberg, 2011; Figueira et al., 2005) reflejando la creencia de que la toma de decisiones colectiva puede ser mejorada por un enfoque sistemático. Según (Keeney and Kirkwood, 1975) en la aplicación, las opciones del grupo respecto a compartir los juicios y las preferencias de los miembros deben hacerse teniendo en cuenta la transparencia del modelo, la influencia de uno de los miembros de los demás, y la tergiversación estratégica (persuasión descrita en la introducción). Posteriormente el grupo debe decidir cuándo y cómo se deben utilizar los resultados del modelo para generar comprensión del proceso de decisión.

## 2.2. Metodología para realizar la revisión sistemática de literatura

En las secciones 2.3 y 2.4 se realiza una revisión sistemática de literatura mediante herramientas computacionales. El objetivo de una revisión sistemática de la literatura es identificar, evaluar y analizar los documentos disponibles relacionados con los temas de interés de manera formal y estructurada. Los pasos del protocolo para la revisión sistemática de la literatura se desarrollan de la siguiente manera:

1. Buscar en bases de datos e identificar palabras clave.
2. Excluir documentos duplicados.
3. Revisar los resúmenes y las palabras clave para excluir temas no relacionados.
4. Construye una base de datos de corpus y revisa artículos para identificar aplicaciones relacionadas.
5. Revisar los artículos mediante lectura de texto completo y desarrollar gráficos de redes.

Una búsqueda inicial en la base de datos Scopus<sup>®</sup> y sus revistas asociadas dan 5500 resultados. Excluimos un conjunto de temas para limitar los resultados y dar más atención a nuestra búsqueda. A continuación, realizamos un análisis de red bibliométrica basado en el análisis de co-word usando el paquete "bibliometrix" de **R**. Los resultados se dan en el siguiente párrafo.

### Preguntas de investigación para la revisión de literatura

- RQ1 ¿Cuáles son los métodos CGDM frecuentemente aplicados?
- RQ2 ¿Cuáles son los trabajos seminales en CGDM?



## 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal

---

- RQ3 ¿Cuáles son los artículos, autores, temas relacionados y vacíos de investigación más relevantes?

El principal objetivo de nuestras preguntas de investigación es entender cuáles son los métodos más comunes y sus relaciones. Adicionalmente la pregunta de investigación 3 genera un marco de referencia para búsqueda de Consenso en decisiones grupales CGDM y futuras investigaciones relacionadas.

### **2.3. Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal**

Esta sección da cumplimiento al primer objetivo específico de la tesis doctoral.

- *Caracterizar la evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal.*

Primero presenta los trabajos que dieron inicio al análisis de decisión Multicriterio MCDM, después muestra la división en dos corrientes principales Toma de decisiones multi atributo MADM y multi objetivo MODM, luego se presentan las bases de la toma de decisiones multicriterio grupal MCGDM y finalmente se muestra una revisión de los principales trabajos en el área. Algunos de los principales referentes para la nota histórica a continuación son (Zeleny, 1982; Tzeng and Huang, 2011; Köksalan et al., 2011; Köksalan et al., 2016)

#### **2.3.1. Primeros desarrollos en decisión multicriterio MCDM**

El origen formal de la toma de decisiones es difícil de rastrear (debido a que es un tema abordado por muchos campos científicos diferentes), en general es posible diferenciar tres

**Tabla 2-3:** Tipos de análisis formal en toma de decisiones (Bell et al., 1988; Tzeng and Huang, 2011)

Análisis descriptivo	Análisis prescriptivo	Análisis normativo
Se ocupa de los problemas que los decisores quieren resolver	Considera métodos que el decisor debería usar para mejorar sus decisiones	Se centra en los problemas que el decisor debería abordar idealmente

tipos de análisis formal para resolver problemas de toma de decisión: *el análisis descriptivo, prescriptivo y normativo* (Tabla **2-3**), sin embargo en la nota histórica a continuación, se excluye el análisis descriptivo (también llamado teoría del comportamiento en la toma de decisiones) debido a que es un campo abordado mayormente por la psicología y el mercadeo. (Slovic et al., 1977; Kahneman and Tversky, 2000; Tzeng and Huang, 2011). En su lugar el estudio se enfoca en *análisis prescriptivo y normativo*, ya que estos son tratados desde los campos de las *ciencias de decisión, economía e investigación operativa*.

Uno de los registros mas antiguos de procesos formales de toma de decisiones se refiere a la antigua Grecia, donde se evidencian procesos de toma de decisiones colectivas tales como el consejo de los dioses y las diosas olímpicos, quienes tomaban decisiones con el aporte de un panel de expertos, en donde Zeus (oficiaba como presidente de los dioses), Atenea (la diosa de la sabiduría), Hermes (el dios de la información y el comercio) quienes junto a cualquier otro dios cuya área de especialización fuera pertinente, realizaban sesiones participativas orientadas a buscar la mejor solución a problemas (Theofanides, 1999).

Otros aportes interesantes de los antiguos griegos fueron realizados por Democrates quien abogo por la toma de decisiones descentralizada y la asignación de recursos, Xenophon quien muchos años antes de las primeras nociones de programación lineal ya proponía el termino de combinación optima de los recursos (Zanakis et al., 2003). Sin embargo, el aporte mas

### 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal

---

interesante de los antiguos griegos a la toma de decisiones fue planteado por Aristóteles, con la primera aproximación a un concepto Multicriterio en su trabajo *Ética a Nicomaco* (Köksalan et al., 2016).

Siglos mas tarde, Nicolas Bernoulli y Pierre Rémond de Monrmort, plantean la paradoja de San Petesburgo en 1713 donde:

*”Se lleva acabo un juego lanzando una moneda justa hasta que cae en cruz, y el numero total de lanzamientos,  $n$ , determina el premio, que es igual a  $2n$ . Si la moneda cae en cara la primera vez, se lanza de nuevo y así sucesivamente. Surge el problema: Cuanto estarías dispuesto a pagar por este juego?”.*

Nicolas, lleva el problema a su primo Daniel Bernoulli quien da solución al mismo en 1738 al proponer *Cualquier incremento en riqueza, no importa cuan insignificante, siempre resultará en un incremento en utilidad que es inversamente proporcional a la cantidad de bienes ya poseídos* (Bernoulli, 1954). La conclusión nos lleva a que los humanos toman decisiones no por su valor esperado sino por su valor de utilidad. Cuyas implicaciones son que los seres humanos seleccionan la alternativa con el valor de utilidad mas alto al afrontar problemas muti atributo MADM (Tzeng and Huang, 2011). Posterior a Bernoulli, surge el Álgebra moral o prudencial de (Franklin, 1772) quien expone su método mediante cartas a su amigo Joseph Priestly.

*Querido Señor,*

*En el caso de tanta importancia para usted, que me pregunta por mi Consejo, no puedo dejar de tener suficientes premisas, aconsejar lo que debe determinar, pero si lo desea, le diré cómo. Cuando ocurren estos casos difíciles, son difíciles porque cuando están bajo consideración, todas las razones pros y contras no son presentadas en la mente al mismo tiempo; pero a veces un conjunto se presenta, y otras veces otro, el primero está fuera de la vista. De ahí los diversos propósitos o inclinaciones que*

*prevalecen alternativamente, y la incertidumbre que nos deja perplejos. Para superar esto, mi manera es, dividir media hoja de papel por una línea en dos columnas, escribiendo sobre una Pro y sobre la otra Con. Luego, durante tres o cuatro días de consideración, pongo bajo los diferentes títulos cortas indicaciones de los motivos, que en diferentes ocasiones se me presentan en contra de la medida. Cuando los tengo reunidos en una sola vista, me esfuerzo por estimar sus respectivos pesos; y donde encuentro dos, uno en cada lado, que parece igual, los saco a los dos. Si encuentro una razón pro igual a dos razones contra, saco los tres. Si juzgo dos razones contra tres razones pro, saco las cinco; y así procediendo, encuentro a la larga donde se encuentra el equilibrio; y si después de un día o dos de consideración posterior no ocurre nada nuevo que sea importante en ninguno de los dos lados, llego a una determinación en consecuencia. Y aunque el peso de las razones no se puede tomar con la precisión de las cantidades algebraicas, sin embargo, cuando se considera de manera diferente y comparativa, y todo está ante mí, creo que puedo juzgar mejor y es menos probable que dé un paso precipitado; y de hecho, he encontrado una gran ventaja de este tipo de ecuación, en lo que podría llamarse Álgebra Moral o Prudencial. Deseando sinceramente que pueda determinar lo mejor, soy siempre, mi querido amigo, el más cordial de todos.*

*B. Franklin*

El trabajo de Franklin es reconocido por muchos, como el trabajo seminal que da origen al área de toma de decisiones Multicriterio. Posterior a Franklin, se destaca el trabajo en aplicaciones matemáticas para ciencias sociales de Marie-Jean-Antoine-Nicolas de Caritat (Marques de Condorcet), específicamente en el campo de votación y elecciones. Su trabajo en probabilidad de decisión en elecciones mayoritarias (donde desarrolla su teorema del jurado, la paradoja y el método de Condorcet) (Condorcet et al., 1785) contrastan con el método

## 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal

---

de Jean-Charles de Borda, otro académico contemporáneo quien destaco por su propuesta de uso de escalafones resumidos (de Borda, 1781).

Años mas tarde, Georg Cantor y Felix Hausdorff introducen las bases para la optimización multi-objetivo. Cantor con sus contribuciones al introducir el concepto de clases de equivalencia y dar el primer ejemplo de una función de utilidad (Cantor, 1895) y (Cantor, 1897) y Hausdorff al presentar el primer ejemplo de un ordenamiento completo (Hausdorff, 1906). Conceptos que se convertirían mas adelante en las bases matemáticas usadas en MCDM. En el mismo año (Pareto, 1906) re trabajo las cajas de Edgeworth y propuso conjuntos de frontera eficiente para las mismas. Aunque los orígenes del campo de la toma de decisiones son diversos, autores como (Köksalan et al., 2016) exponen dos grupos principales en los cuales se puede soportar el comienzo de la toma de decisiones Multicriterio, uno de ellos es la teoría de la utilidad y el otro es la programación matemática multi-objetivo. Esta clasificación también es propuesta por (Hwang and Yoon, 1981) quien realiza una taxonomía para MADM. En la figura a continuación se presenta una linea de tiempo con estos primeros desarrollos Figura 2-6.

### 2.3.2. Origen de la Teoría de la utilidad y del Análisis de decisión

Los orígenes de la teoría de la utilidad se remontan al estudio de Bernoulli en 1738 sobre la solución de la paradoja de san petesburgo (Bernoulli, 1754) discutida en el acápite anterior. Posteriormente, (Ramsey, 1931) propone los primeros axiomas para escoger alternativas con pagos inciertos, junto a un modelo de utilidad subjetivo en 1926 pero publicado en 1931, un año después de su muerte. En 1938 (Samuelson, 1938) publica *Una nota en la teoría pura del comportamiento del consumidor* donde expone el inicio de su axioma en preferencia revelada. En 1944 (Von Neumann and Morgenstern, 1944) formulan una aproximación al concepto de MCDM con *“Problemas de varios máximos conflictivos” (several conflicting maximum problems)* dentro de su famoso trabajo de *Teoría de juegos y comportamiento económico*. Pero

Siglo 4 A.C



**Siglo iv a.C Aristoteles** define deseos racionales y preferencias



**1738 Bernoulli** Paradoja de san petesburgo



**1772 B.Franklin** Algebra moral o prudencial



**1781 de Borda** Rankings resumidos



**1785 Condorcet** Decisiones mayoritarias



**1881 Francis Edgeworth** Caja Edgeworth



**1895 1897 Cantor** Espacios ordenados en dimensiones infinitas



**1906 Hausdorff** Primer ejemplo de un ordenamiento completo



**1906 V Pareto** Eficiencia de pareto en cajas edgeworth



**1926 Frank P. Ramsey**  
Primer conjunto de axiomas para seleccion  
de alternativas con pagos inciertos (modelo de utilidad subjetiva)



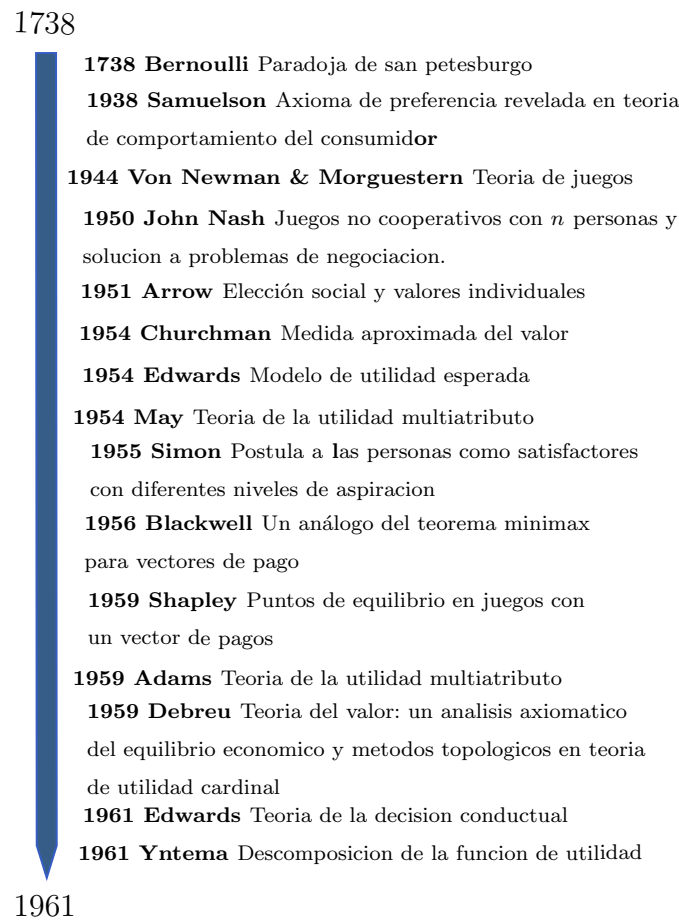
**1944 Von Newman & Morguestern** Teoria de juegos

1944

**Figura 2-6:** Primeros desarrollos en MCDM e inicio de la teoría de la utilidad. Fuentes: Ultima foto abajo a la izquierda, es tomada de: Shelby White and Leon Levy Archives Center, las demás son de libre distribución.

## 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal

---



**Figura 2-7:** Línea de Tiempo teoría de la utilidad.

estos autores no persiguieron el concepto de Multicriterio más adelante, desarrollando a su vez la teoría de juegos unidimensional. Años más tarde, John Nash trabaja en la solución de juegos no cooperativos con  $n$  personas (Nash Jr, 1950b) y propone una solución para problemas de negociación (Nash Jr, 1950a).

En 1951 se publica el teorema de la imposibilidad de Arrow, o la paradoja de Arrow, que demuestra la imposibilidad de los sistemas de agregación para convertir las preferencias (ordinales) de los individuos en una clasificación grupal (Arrow et al., 1951) y (Churchman and Ackoff, 1954) trabaja en la medida aproximada del valor. El padre de la teoría de decisión

conductual es (Edwards, 1954), quien expone el modelo de utilidad esperada y posteriormente publica *La teoría de la decisión conductual* (Edwards, 1961) donde muestra la forma en que las personas toman las decisiones y como podría mejorarlas. (Simon, 1955) postula el *hombre racional* al tomar decisiones, donde expone que las personas no son maximizadoras de utilidad, sino satisfactoras de necesidades que establecen niveles de aspiración. Mas tarde tenemos a (Debreu, 1959a) con la teoría del valor: un análisis axiomático del equilibrio económico y (Debreu, 1959b) con métodos topológicos en teoría de utilidad cardinal. A esta lista de trabajos matemáticos seminales debemos agregar a (Blackwell, 1956) y (Shapley, 1959) en juegos con un vector de pagos. Desafortunadamente sus trabajos no fueron seguidos por otros matemáticos, o investigadores de investigación-operativa ni tampoco por los autores mismos.

En un frente diferente las bases de lo que se conoce hoy como: "teoría de utilidad multi-atributo" yacen en los trabajos de (May, 1954; Adams and Fagot, 1959) , y especialmente (Yntema and Torgerson, 1961), quienes introducen la descomposición de función de utilidad todos incluyendo y sin incluir términos interactivos. Pero aun en esta área, existió una pausa científica y no se presentaron trabajos significativos que lo siguieran hasta (Sen, 1970) con: condiciones generales que eliminan la intransitividad en la regla de mayoría.

### **2.3.3. Origen de la Programación matemática multi-objetivo**

Los investigadores de operaciones prácticos persiguieron sus discusiones en múltiples objetivos durante los cincuenta aparentemente sin notar que ya existía una base matemática. Sus discusiones fueron buenas en reconocimiento de problemas pero limitadas en términos de metodología. Podemos mencionar (Koopman, 1953) y (Koopman, 1956), (Hitch, 1953), (Hoag, 1956) , y (Klahr, 1958). (Koopmans, 1951) uso por primera vez el concepto de vector eficiente, lo que significa la solución no dominada del moderno MCDM. En el mismo año H.W Khun y A w Tucker formulan el problema de maximización de vectores y condiciones



### 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal

---

de optimalidad derivadas para la existencia de soluciones eficientes. Su teorema de punto de ensilladura es ampliamente conocido y extendido a casos no lineales. (Arrow et al., 1953) persiguieron la misma dirección, explorando las condiciones de optimalidad para soluciones “admisibles” y señalaron la conexión entre el problema del vector máximo y lo que hasta hoy se conoce como “programación lineal multiparametrica”. El resultado más tangible de los años cincuenta resulto ser la programación por metas de Abraham Charnes y William W Cooper, primero introducida en su libro (Charnes and Cooper, 1961), partes de lo que fuera su trabajo previo (Charnes and Cooper, 1957). La idea de la programación por metas fue originalmente una re-formulación del concepto de “eficiencia” de T.C. Koopmans y no fue tratado ni prominente ni ampliamente por los autores. Incluso describieron un procedimiento, el método espiral, para identificar todas las soluciones “eficientes” de un problema de programación lineal. Desafortunadamente este avance tampoco fue seguido por los autores. Otros libros como (Karlin, 1959) y (Hanssmann, 1962) también tomaron el problema de conflicto multi-objetivo.

(Miller and Starr, 1969) reviven todo nuevamente con su libro *Executive decisions and Operations Research* (1959,1969). Pero como antes sin trabajos de seguimiento significativos. Aparentemente el mundo de las ciencias administrativas y la investigación operativa estaba muy preocupado con el refinamiento de algoritmos basados en computadoras y un poco abrumados por el éxito matemático y la elegancia de los modelos de un solo criterio.

(Bod, 1963) puso las bases de la programación multi-objetivo lineal y lo que hoy se conoce como el método simplex Multicriterio. Esto fue, sin embargo diez años antes de algoritmos que realmente funcionaran. A mediados de los sesentas la teoría del vector máximo de Khun Tucker fue revivida durante un corto periodo de tiempo, esta vez por ingenieros: fue especialmente notable (Zadeh, 1963) , famoso mas tarde por los conjuntos difusos junto con (Klinger, 1964) y (Da Cunha and Polak, 1967) y (Pollak, 1967). También a mediados de los sesentas la descomposición de la función de utilidad multi-atributo recibió atención mas

significativa. (Fishburn, 1965) y (Pollak, 1967) establecieron las condiciones necesarias para la descomposición de la función de utilidad aditiva. Menos matemático pero mas atractivo y practico resulto el trabajo ampliamente citado de (Eckenrode, 1965) junto a (Briskin, 1966). El postulado empírico extremadamente estimulante de (Shepard, 1964) confirmo que el desempeño humano en el intercambio de varios atributos simultáneamente, no es muy impresionante e implica que algún tipo de ayuda debe ser proveído. Uno de los trabajos mas importantes en teoría de la utilidad multi- atributo en los sesentas fue el memorando RAND de (Raiffa, 1969). Otro reporte RAND similar que influencio bastante , y el primer trabajo general sobre teoría de utilidad multi- atributo fue desarrollado por (McCrimmon, 1968). También debemos mencionar el primer trabajo de (Keeney, 1968) en funciones de utilidad cuasi separables.

Los verdaderos fundamentos para el estudio serio y continuo de problemas con múltiples objetivos en conflicto fueron dados por (Johnsen, 1968) en su voluminosa monografía, estudios en modelos de decisión multi-objetivo. La programación por metas tuvo a su vez desarrollo en campos aplicados (esta vez en el campo de las finanzas) por (Ijiri, 1965), y posteriormente adquirió sus pesos de prioridad en el libro de (Lee, 1972). La programación por metas emergió con nueva fuerza en el trabajo de (Saska, 1968), el cual fue basado en los artículos de (Radzikowski, 1967) y (Jüttler, 1967). El trabajo doctoral de (Geoffrion, 1948) también debe ser mencionado. (Dinkelbach, 1971) y (Dinkelbach and Dürr, 1972) proveen extensiones al problema del vector máximo. (Philip, 1972), (Evans and Steuer, 1973) , y la monografía de (Zeleny, 1974) trajeron la “programación lineal multi-objetivo” finalmente a la existencia.

La primera conferencia internacional en toma de decisiones Multicriterio , se realizo en la universidad de Carolina del sur en 1972 (Zeleny and Cochrane, 1973). El nombre de esta conferencia y su acrónimo de MCDM, se ha convertido desde entonces en la marca de identificación de este nuevo campo. La conferencia de carolina del sur representa un punto de giro en investigación y aplicaciones MCDM. Muchos investigadores famosos y otros que serian

### 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal

---

famosos mas tarde en MCDM participaron: Churchman, Dawes, MacCrimmon, Fishburn, Keeney, Blin, Roy, Dyer, Yu, Zeleny, Dinckelbach, Isermann, Steurer, Ijiri, Green, Zadeh, Easton, Briskin, Wagner, y Ben Israel. Un crecimiento explosivo de literatura se dará en los años setentas (Zeleny, 1982). En los años 70 MCDM fue sin lugar a dudas el campo de mayor crecimiento y el mas innovador en OR/MS. El numero de artículos y libros fue alrededor de mil, y este crecimiento es el mismo en los ochenta. Tan solo hasta finales de los setentas aparecen variadas aplicaciones practicas, lo que aseguraría un crecimiento aun mayor del MCDM.

### 2.3.4. Toma de decisiones multi-atributo MADM y multi-objetivo MODM

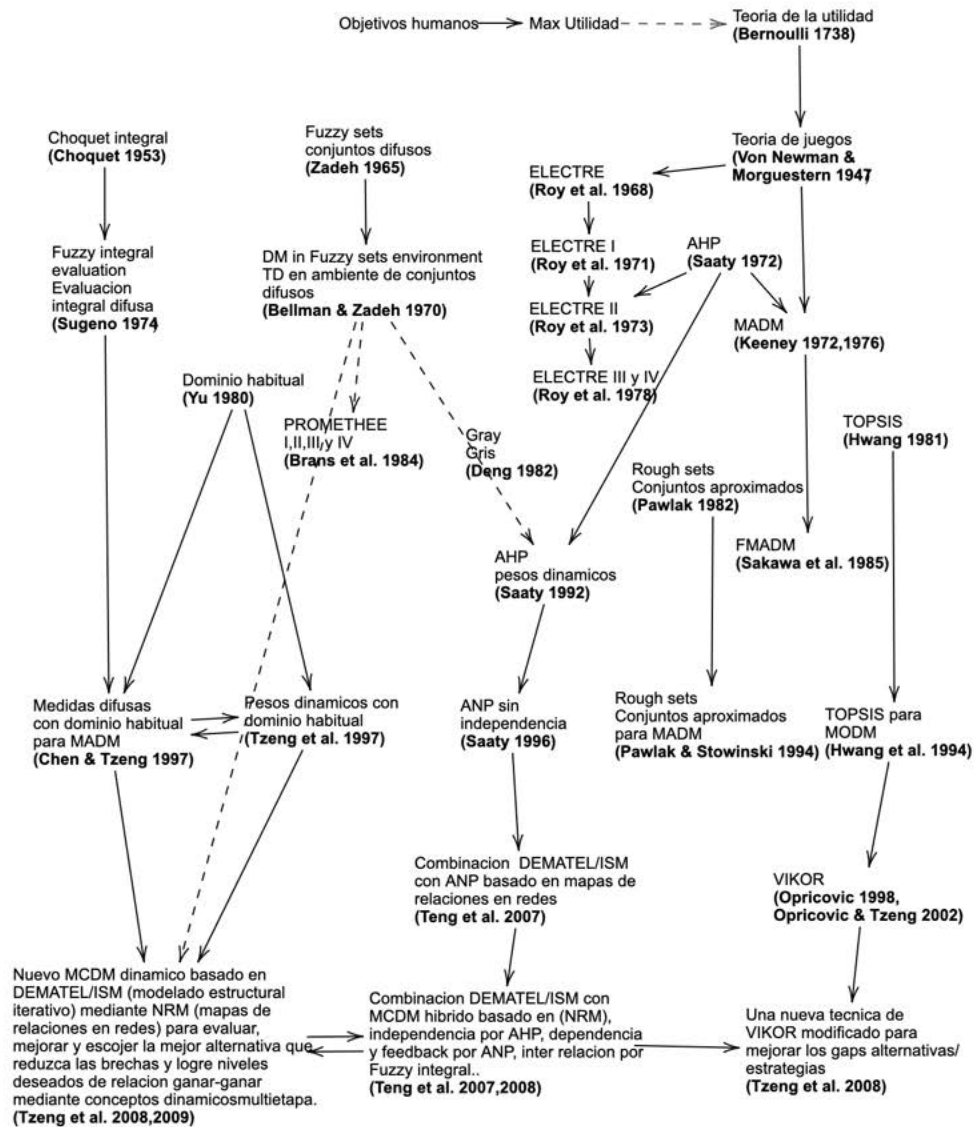


Figura 2-8: Desarrollo del MADM (Tzeng and Huang, 2011; Hwang and Yoon, 1981)

## 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal

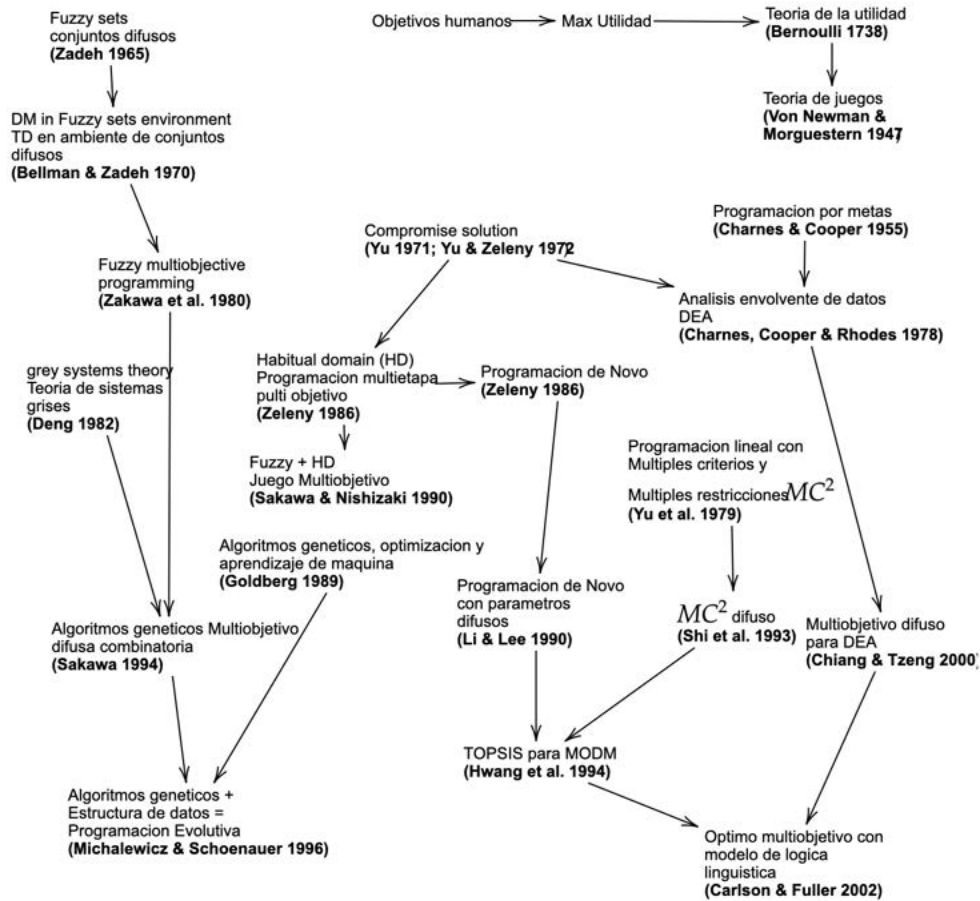
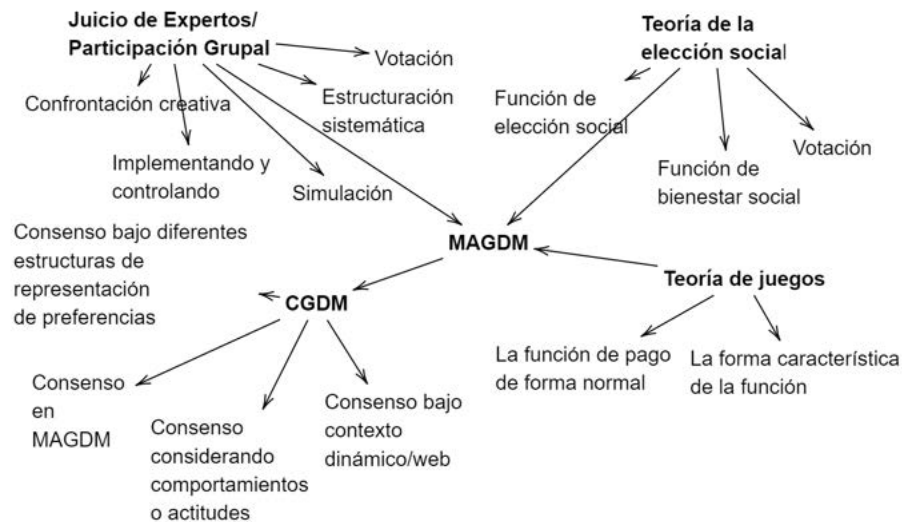


Figura 2-9: Desarrollo del MODM (Tzeng and Huang, 2011)

### 2.3.5. Toma de decisiones multi-criterio grupal MCGDM

La toma de decisiones grupal tiene por objetivo a agregar opiniones de más de un individuo en una decisión grupal consensuada. El inconveniente en este tipo de decisiones se presenta debido a la asimetría de información presente en las motivaciones y actitudes de cada miembro del grupo mientras se intenta llegar a una decisión consensuada. De acuerdo con (Dong et al., 2015) desde una perspectiva macro, toda la sociedad moderna es esencialmente un

problema de decisiones grupal, donde se presentan dos enfoques predominantes: los modelos de votación usados usualmente en la política y los mecanismos de mercado aplicados en temas económicos. La historia de los problemas de decisiones grupales se remonta a la antigua Grecia, donde sus historias se referían al uso de decisiones colectivas (Theofanides, 1999), posteriormente se tiene registro del uso de esquemas de votación para decisiones grupales (Llull, 2008; de Borda, 1781; Condorcet et al., 1785). Años mas tarde, a partir del estudio de decisiones como funciones de utilidad esperada de Von Newman (Von Neumann and Morgenstern, 1944) surgen grandes avances en toma de decisiones grupales, como la teoría de la elección social de Arrow (Arrow et al., 1953) y la teoría de la perspectiva de Kahneman y Tversky (Kahneman, 1979; Tversky and Kahneman, 1992).



**Figura 2-10:** Taxonomía reducida MAGDM. Basado en (Dong et al., 2015; Hwang and Lin, 2012)

Según (Hwang and Lin, 2012) la toma de decisiones grupales incluye campos tan diversos e interconectados como el análisis de preferencias, la teoría de la utilidad, la teoría de la elección social, la teoría de la decisión comprometida, la teoría de la votación, la teoría general

### 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal

---

del juego, el análisis de la evaluación de expertos, la agregación de factores cualitativos y la economía. teoría del equilibrio, teoría de conjuntos difusos, preferencias, análisis de redes sociales, análisis de influencia social, entre otros. Los problemas de toma de decisiones en grupo son diversos y muy variados. Sin embargo, comparten características comunes como criterios / objetivos / atributos múltiples, conflicto entre criterios y Comité (todos los responsables de la toma de decisiones están de acuerdo con reglas específicas que promueven sus intereses). Una taxonomía reducida para la toma de decisiones del Grupo bajo múltiples atributos se puede ver en la Figura **2-10**.

Un problema de toma de decisiones en grupo (DMG) se refiere a buscar soluciones colectivas al fusionar la opinión individual de varios tomadores de decisiones o partes interesadas. Además, podemos verlo como la relación entre opiniones individuales. Un proceso de agregación general basado en Dong et al. (Dong et al., 2015) se puede definir de la siguiente manera:

$$(op^1, op^2, \dots, op^n) = op^c \quad (2.27)$$

Donde el conjunto  $op = \{op^1, op^2, \dots, op^n\}$  refleja las opiniones de los responsables de la toma de decisiones o de las partes interesadas involucradas en el problema de GDM. Sin embargo, de acuerdo con Ervural (Ervural and Kabak, 2015) el Consenso no solo se utiliza para buscar acuerdo de la mayoría de los participantes, sino también para reducir la desaprobación de las minorías. El proceso de Consenso es necesario para obtener una clasificación o selección final con un cierto nivel de acuerdo entre los DM. Claramente, es preferible que el conjunto de DM alcance un alto grado de Consenso antes de aplicar el proceso de selección (Cabrerizo et al., 2010a).

Según (Dong et al., 2010; Dong et al., 2015) el Consenso es un área importante de investigación en GDM y se define como un estado de mutuo acuerdo entre los individuos de un grupo, donde todas las opiniones han sido escuchadas y dirigidas a la satisfacción del grupo. Un proceso para llegar a un Consenso es un proceso dinámico e iterativo compuesto por

varias rondas en las que los individuos expresan, discuten y modifican sus opiniones hasta que toman una decisión.

### **2.3.6. Construcción de consenso en toma de decisiones multi-criterio grupal**

Los primeros enfoques matemáticos del modelo de Consenso fueron dados por French (Jr, 1956; Coch and French, 1948). Más tarde, Harary propone el uso de Markov Chains (Harary, 1959). Años después, De Groot (Degroot, 2012) y French (French, 1981) extendieron la teoría del Consenso a una forma más general. Años más tarde, se han propuesto varios modelos de Consenso, como (Friedkin and Johnsen, 1990; Lehrer and Wagner, 2012). Según (Dong et al., 2010) *“el Consenso se define como el acuerdo total y unánime de todos los expertos con respecto a todas las alternativas posibles”*. Sin embargo, un acuerdo completo no siempre es necesario en la práctica. Esto ha llevado al uso de Consenso soft / medidas de Consenso (Cabrerizo et al., 2009b; Chiclana et al., 2013; Herrera-Viedma et al., 2014; Kacprzyk and Fedrizzi, 1988; Loewer, 1985). De acuerdo con la teoría del Consenso suave, usamos el esquema de clasificación dado por (Dong et al., 2015) con cuatro grupos principales. El primero se refiere al Consenso bajo diferentes estructuras de representación de preferencias, debido a que muchos modelos tenían diferentes estructuras de presentación: en la literatura se ha propuesto un gran número de modelos de Consenso para GDM con diferentes estructuras de representación de preferencias (es decir, (Kacprzyk and Fedrizzi, 1988) propuso el uso Herrera (Herrera et al., 1996a) propuso el uso de relaciones de preferencia lingüísticas y también propuso enfoques para apoyar el Consenso y alcanzar relaciones de preferencia incompletas, entre otros). El segundo grupo se refiere al Consenso en MAGDM de la siguiente manera: los responsables de la toma de decisiones / expertos emiten juicios de valor utilizando matrices de decisión sobre múltiples atributos y alternativas. Fu es el autor más importante en este tema (Fu and Yang, 2010; Fu and Yang, 2011; Fu and Yang,



### 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal

---

2012; Fu et al., 2014; Fu et al., 2015). El tercer grupo se refiere al Consenso en contextos dinámicos / web, donde los problemas de GDM tienen cambios regulares sobre las alternativas y los expertos. En este tema, Pérez et al. (Pérez et al., 2010; Pérez et al., 2011) propuso modelos de Consenso dinámicos para gestionar cambios dinámicos sobre un conjunto de alternativas. Además, Alonso et al. (Alonso et al., 2010) propuso un modelo de Consenso dinámico para abordar la situación de decisión en la que las tasas de participación y contribución de los expertos cambian dinámicamente. El último grupo involucra el Consenso considerando comportamientos / actitudes y está relacionado con los modelos para tratar las actitudes reactivas de los tomadores de decisiones (es decir, opiniones deshonestas, incompletas, reactivas) Recientemente, Palomares et al. (Palomares et al., 2014) propuso un marco de Consenso novedoso para la GDM con relaciones de preferencia aditivas teniendo en cuenta los comportamientos no cooperativos. Además, Palomares et al. extendió el marco de referencia en Consenso para detectar y gestionar comportamientos no cooperativos en el contexto lingüístico.

#### **2.3.7. Revisión documental - búsqueda de consenso en toma de decisiones grupales CGDM**

En la Tablas **2-4** y **2-5** se puede ver un alcance inicial del análisis bibliométrico. Analizamos 1978 artículos de 943 revistas, 6693 palabras clave más, 4062 palabras clave de autor, durante un período de 1976 a 2019. Siguiendo el protocolo de revisión, se hacen búsquedas múltiples y refinamos los resultados. Como resultado inicial, obtenemos de la base de datos de Scopus una tasa de crecimiento anual: 2.59 % de publicaciones relacionadas con CGDM. Esta tasa de crecimiento anual es un término específico para la relación de progresión geométrica que proporciona una tasa constante.

**Tabla 2-4:** Revisión inicial

<b>Descripción</b>	<b>Resultados</b>	<b>Descripción</b>	<b>Resultados</b>
Documentos	2000	Apariciones del autor	5571
Fuentes (Journals, Books, etc.)	943	Autoría única	361
Keywords Plus (ID)	6693	Autoría múltiple	3349
Autor Keywords (DE)	4062	Documentos de un solo autor	428
Periodo	1976 - 2020	Documentos por autor	0.539
Citaciones promedio por documentos	20.28	Autores por documento	1.85
Autores	3710	Coautores por documentos	2.79
		Índice de colaboración	2.13

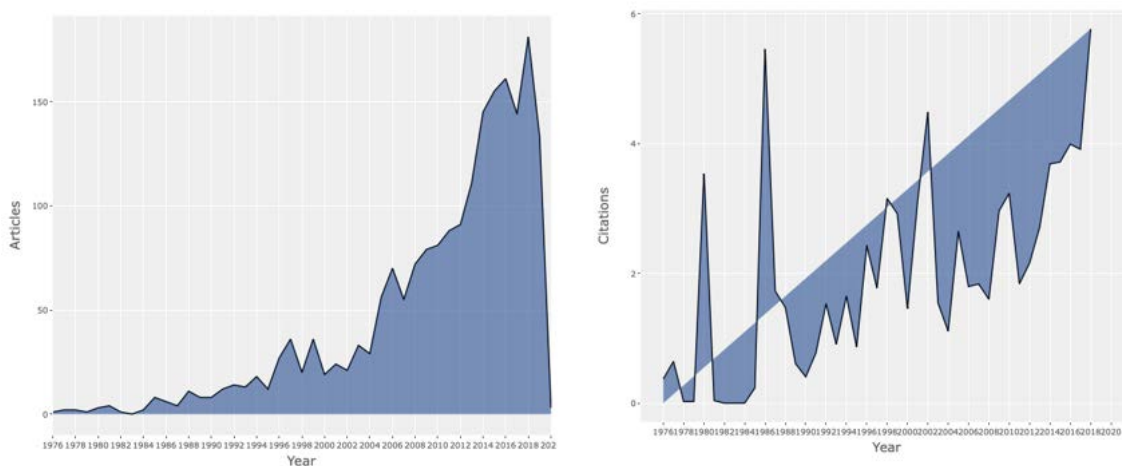
**Tabla 2-5:** Componentes de la revisión

<b>Tipo de documentos</b>	<b>Resultados</b>	<b>Tipo de documentos</b>	<b>Resultados</b>
Artículos	2000	Editorial	1
Artículos in Press	19	Nota	2
Libros	10	Reporte	1
capítulos de libro	60	Revisión	50
Conference Paper	503	Short Survey	2
Conference Review	18		

En la presente búsqueda, podemos ver un comportamiento de crecimiento exponencial en CGDM. Figura 2-11. El gráfico de tres campos muestra los temas más importantes, revistas, autores y las palabras clave que utilizan. Como se puede ver en la Figura 2-12, la revista

### 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal

---



(a) Producción científica anual

(b) Citaciones de artículos anuales

**Figura 2-11:** Evolución de producción anual en CGDM

más relevante en CGDM es *knowledge-based systems*, seguida de *information sciences*. En la Tabla 2-6 se pueden ver los trabajos más relevantes entre el cuarto esquema de clasificación de temas principales en CGDM. El mapa historiográfico es un gráfico propuesto por E. Garfield (Garfield, 2004) para representar un mapa de red cronológico de las citas directas más relevantes resultantes de una colección bibliográfica (Aria and Cuccurullo, 2017; Cobo et al., 2011).

En la Figura 2-13 se puede ver el mapa historiográfico, donde cada nodo representa un documento citado por otros documentos, cada borde representa una cita directa. Los nodos y los bordes se trazan en un gráfico orientado donde el eje horizontal representa los años de publicación. Desde la Figura 2-13 podemos observar que el trabajo fundamental sobre la toma de decisiones del Grupo de Consenso es "La toma de decisiones grupales con una mayoría lingüística difusa" propuesto por Kacprzyk en 1986 (Kacprzyk, 1986a). La tabla 2-7 también es un mapa historiográfico, y muestra la importancia de cada documento por su puntaje de citación local (solo en esta búsqueda) y global.

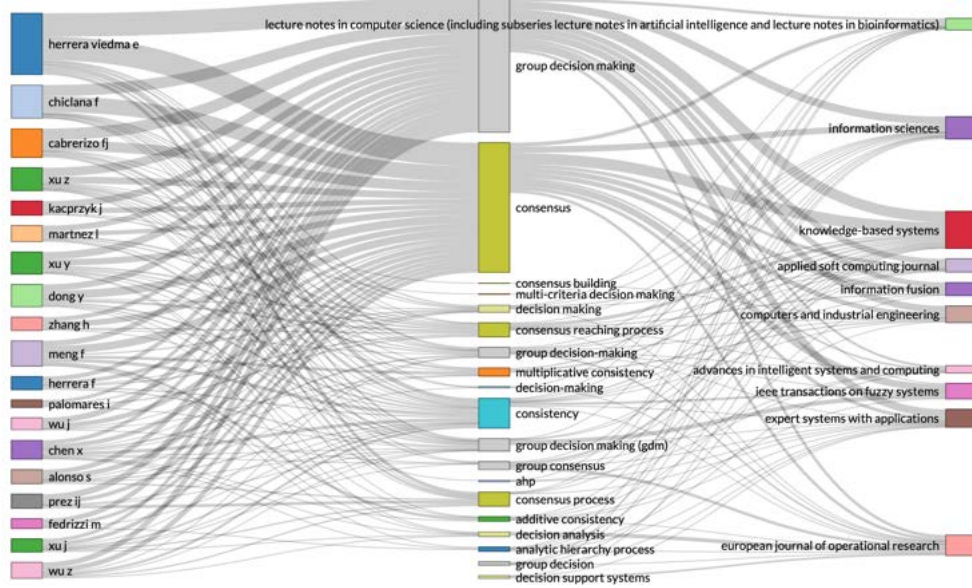


Figura 2-12: Impresión de tres campos para búsqueda de consenso

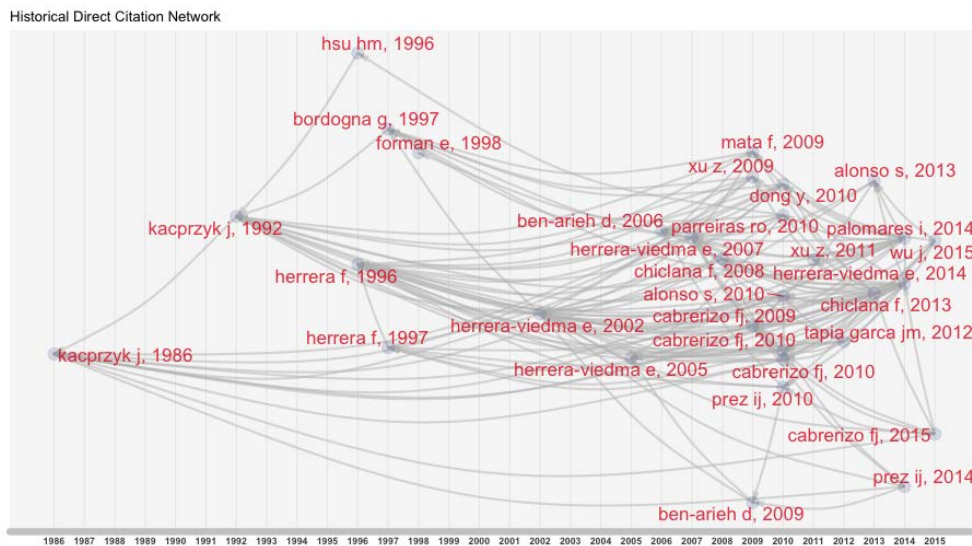


Figura 2-13: Citación directa histórica en CGDM

### 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal

---

**Tabla 2-6:** Revisión de la literatura sobre búsqueda de consenso

Modelos de consenso	Investigaciones relacionadas
Consensus under different preference representation structures	(Ben-Arieh and Chen, 2006a; Kacprzyk, 1986b; Kacprzyk et al., 1992; Dong et al., 2010; Cabrerizo et al., 2010b; Herrera et al., 1996a; Herrera-Viedma et al., 2002; Herrera-Viedma et al., 2005; Herrera-Viedma et al., 2014; Herrera-viedma et al., 2007; Herrera et al., 1996b; Herrera et al., 1997; Cabrerizo et al., 2009a; Cabrerizo et al., 2010a; Chiclana et al., 2008; Chiclana et al., 2013; Mata et al., 2009; Garcí et al., 2012)
Consensus in MAGDM	(Fu and Yang, 2010; Fu and Yang, 2011; Fu and Yang, 2012; Fu et al., 2014; Fu et al., 2015; Guha and Chakraborty, 2011; Kim et al., 1999; Sun and Ma, 2015; Roselló et al., 2014; Parreiras et al., 2010; Xu, 2009; Xu and Wu, 2011; Xu et al., 2014)
Consensus under dynamic/web contexts	(Alonso et al., 2010; Alonso et al., 2013; Pérez et al., 2010; Pérez et al., 2011; Kacprzyk and Zadrożny, 2010; Zadrożny and Kacprzyk, 2003)
Consensus considering behaviors and attitudes	(Palomares et al., 2014; Hartmann et al., 2009; Kamis et al., 2019; Rodríguez et al., 2014; Quesada et al., 2015)

**Tabla 2-7:** Mapa historiográfico, los artículos mas relevantes en CGDM

Articulo	DOI	Año	LCS	GCS
HERRERA F, 1996,	<a href="https://doi.org/10.1016/0165-0114(95)00107-7">10.1016/0165-0114(95)00107-7</a>	1996	176	766
KACPRZYK J, 1986,	<a href="https://doi.org/10.1016/0165-0114(86)90014-X">10.1016/0165-0114(86)90014-X</a>	1986	98	499
HERRERA-VIEDMA E, 2002,	<a href="https://doi.org/10.1109/TSMCA.2002.802821">10.1109/TSMCA.2002.802821</a>	2002	197	467
HERRERA-VIEDMA E, 2005,	<a href="https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2005.856561">10.1109/TFUZZ.2005.856561</a>	2005	88	428
BORDOGNA G, 1997,	<a href="https://doi.org/10.1109/3468.553232">10.1109/3468.553232</a>	1997	66	415
HERRERA-VIEDMA E, 2007,	<a href="https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2006.889952">10.1109/TFUZZ.2006.889952</a>	2007	174	399
KACPRZYK J, 1992,	<a href="https://doi.org/10.1016/0165-0114(92)90107-F">10.1016/0165-0114(92)90107-F</a>	1992	121	335
HERRERA-VIEDMA E, 2014,	<a href="https://doi.org/10.1016/J.INFFUS.2013.04.002">10.1016/J.INFFUS.2013.04.002</a>	2014	150	278
HERRERA F, 1997, -a	<a href="https://doi.org/10.1016/S0165-0114(96)00047-4">10.1016/S0165-0114(96)00047-4</a>	1997	78	263
MATA F, 2009, -a	<a href="https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2009.2013457">10.1109/TFUZZ.2009.2013457</a>	2009	97	253
CABRERIZO FJ, 2010, -a	<a href="https://doi.org/10.1016/J.KNOSYS.2009.11.019">10.1016/J.KNOSYS.2009.11.019</a>	2010	77	248
ALONSO S, 2010,	<a href="https://doi.org/10.1016/J.INS.2010.08.005">10.1016/J.INS.2010.08.005</a>	2010	91	235
CABRERIZO FJ, 2010,	<a href="https://doi.org/10.1007/S00500-009-0453-X">10.1007/S00500-009-0453-X</a>	2010	126	214
CHICLANA F, 2013,	<a href="https://doi.org/10.1016/J.INS.2012.09.014">10.1016/J.INS.2012.09.014</a>	2013	87	191
BEN-ARIEH D, 2006, -a	<a href="https://doi.org/10.1109/TSMCA.2005.853488">10.1109/TSMCA.2005.853488</a>	2006	69	189
CABRERIZO FJ, 2009,	<a href="https://doi.org/10.1142/S0219622009003296">10.1142/S0219622009003296</a>	2009	63	186
DONG Y, 2010,	<a href="https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2009.08.013">10.1016/J.EJOR.2009.08.013</a>	2010	76	162
ALONSO S, 2013,	<a href="https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2012.08.009">10.1016/J.ASOC.2012.08.009</a>	2013	64	153
CHICLANA F, 2008,	<a href="https://doi.org/10.1142/S0218488508005236">10.1142/S0218488508005236</a>	2008	65	149
PALOMARES I, 2014,	<a href="https://doi.org/10.1016/J.INFFUS.2014.03.002">10.1016/J.INFFUS.2014.03.002</a>	2014	62	116

En las Figuras **2-14** y **2-15** podemos ver las dinámicas de origen (número de publicaciones por año en cada revista) que se muestran como las tres revistas más importantes de los últimos años *sistemas basados en conocimiento y ciencias de la información* también

### 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal

---

podemos ver las dinámicas de publicación de los autores más importantes en CGDM. La figura **2-15** muestra que Kacprzyk y Fedrizzy son los autores más constantes entre los años. Además, podemos ver que en los últimos años los autores más activos son Herrera, Chiclana y Kacprzyk. De la figura **2-17** podemos observar que existen fuertes relaciones intelectuales y sociales entre los autores más importantes relacionados con CGDM. Estas dos redes se desarrollan teniendo en cuenta la medida central de la intermediación sobre los autores relacionada con el recuento de documentos. La ecuación de búsqueda utilizada para toma de decisiones grupal fue: *TITLE-ABS-KEY ( consensus AND group AND decision AND making ) AND ( EXCLUDE ( SUBJAREA , "MEDI" ) ) AND ( EXCLUDE ( SUBJAREA , "NURS" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "EART" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "NEUR" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "PHAR" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "PHYS" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "MATE" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "HEAL" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "CENG" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "DENT" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "MULT" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "CHEM" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "IMMU" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "VETE" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "Undefined" ) ) AND ( EXCLUDE ( SUBJAREA , "ARTS" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "AGRI" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "ECON" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "BIOC" ) ) AND ( EXCLUDE ( SUBJAREA , "PSYC" ) )*

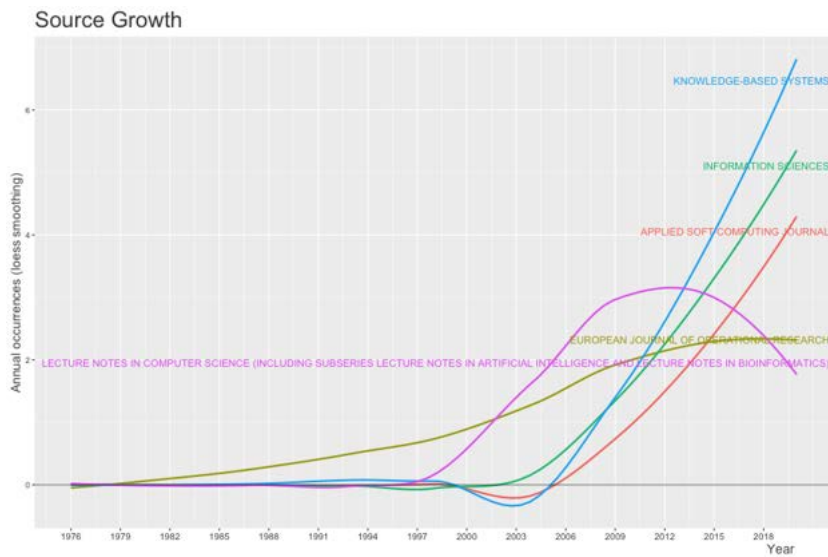


Figura 2-14: Crecimiento en las fuentes en el tiempo

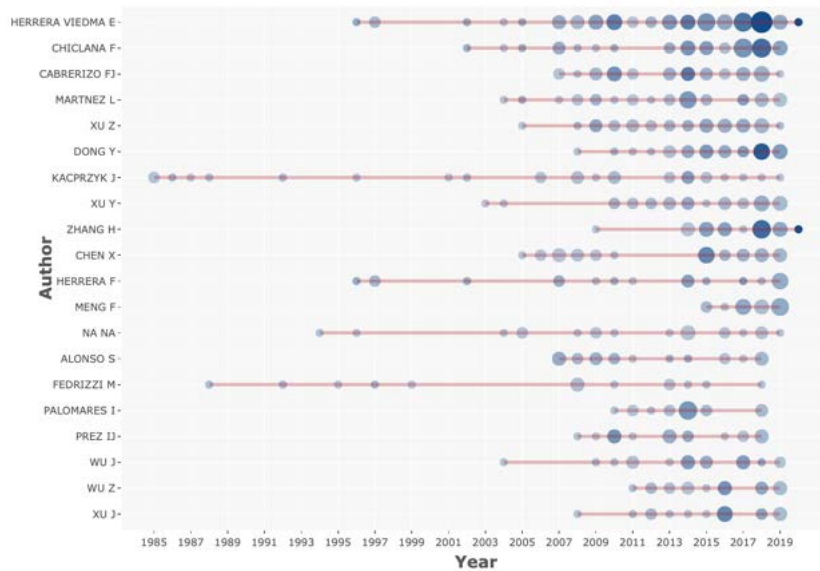
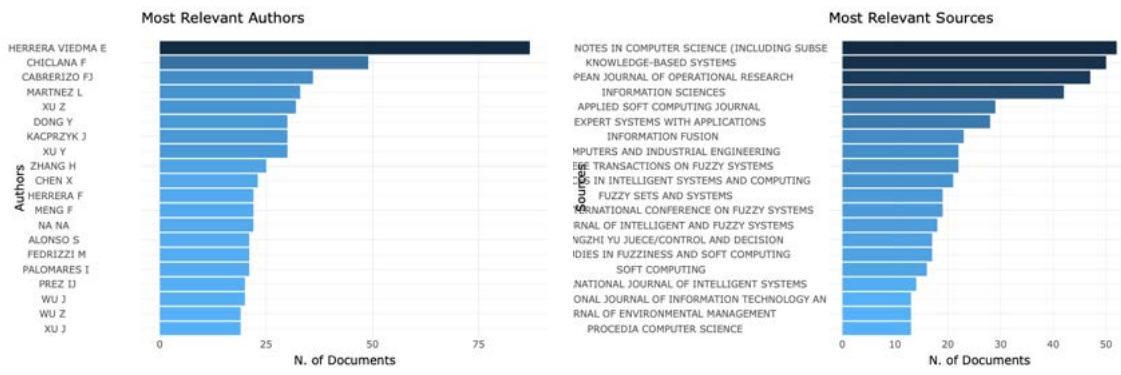


Figura 2-15: Producción de autores top en el tiempo



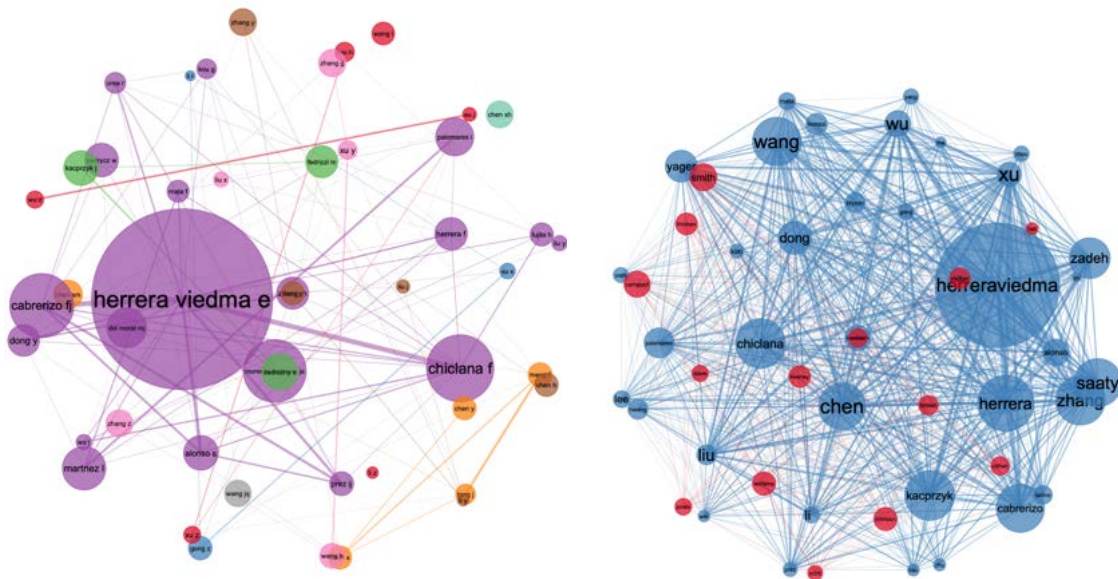
### 2.3 Evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal



(a) Autores más relevantes.

(b) Fuentes más relevantes.

**Figura 2-16:** Autores y fuentes más relevantes



(a) Redes de colaboración

(b) Co citaciones.

**Figura 2-17:** Redes de colaboración entre autores

## 2.4. Análisis del concepto de influencias en toma de decisiones multicriterio grupales.

Esta sección da cumplimiento a los objetivos de la tesis doctoral:

- *Analizar y comparar los métodos aplicados a la toma de decisiones Multicriterio grupal (MCGDM), y las técnicas para medición y análisis de influencia que se han combinado o que puedan combinarse con técnicas multicriterio.*
- *Establecer la importancia de usar métodos de análisis de influencias en la toma de decisiones grupal existentes y su impacto en la gestión ambiental.*

### 2.4.1. Antecedentes Análisis de influencia

Los grupos tienen el potencial de producir decisiones que son mejores que las individuales. Sin embargo, la investigación y la historia muestran que los grupos pueden tomar decisiones peores que los individuos. Incluso en la presencia de diversidad, fuerte liderazgo y tiempo ilimitado. La sub-optimalidad de decisiones grupales ha sido atribuida a varios factores incluyendo pensamiento grupal, apatía social, conformidad, competencia equivocada, y enfoque excesivo en información común. El análisis de influencias se ha desarrollado desde las ciencias sociales, siendo la psicología una de las ramas que más interés ha presentado por un uso extendido en la dinámica de problemas de decisión grupales. A continuación se muestra su evolución histórica, enfatizando al final la tendencia en aplicaciones relacionadas con análisis multi criterio.

De acuerdo con (Friedkin and Johnsen, 2011) durante la década de 1950, muchos psicólogos siguieron un programa de investigación sobre comunicación e influencia social que se centró en las bases del poder y la influencia en grupos, las condiciones estructurales de los grupos y los

## 2.4 Análisis del concepto de influencias en toma de decisiones multicriterio grupales.

---

efectos de estas condiciones grupales en los resultados individuales y colectivos. Mas tarde, en la década de 1970, el interés en el campo de las dinámicas grupales había comenzado a disminuir. Si bien el uso cada vez mayor de modelos formales inclina el campo hacia una preocupación con asuntos teóricos, el campo aún está muy lejos de tener un equilibrio adecuado entre la teoría, el método y los datos.

En la década de 1990, (Levine and Moreland, 1990) habían concluido que las líneas de investigación más activas en grupos pequeños ya no se encontraban en la psicología social sino en la psicología organizacional. Sin embargo, incluso en psicología organizacional, ha habido una disminución del trabajo en las relaciones humanas y las tradiciones de dinámica de grupo ejemplificadas por (Katz, 1953). Durante la década de 1990, se trabajó más en las relaciones inter-grupales, basadas en enfoques de cognición social, que en las relaciones inter-grupales, en las que se reconocen y tratan las características estructurales de los grupos. Al mismo tiempo, la investigación en relaciones inter-grupales se traslada a otros campos de aplicación.

Tomando ahora las actitudes de las personas, estas no se distribuyen al azar y los sociólogos enfatizan que existe una estructura social de condiciones que contribuye de manera importante a explicar por qué las personas ubicadas en diferentes partes de la estructura pueden tener diferentes actitudes hacia lo mismo. Si las condiciones importantes que afectan las actitudes de las personas incluyen las actitudes de otras personas, entonces los individuos pueden estar situados en un panorama cambiante de actitudes. Una perspectiva sociológica llama la atención sobre la estructura social de tales respuestas interpersonales y enfatiza su explicación en el movimiento de las actitudes de las personas a lo largo del tiempo, incluida su convergencia hacia el consenso.

La teoría de la red de influencia social presenta una formalización del proceso social de cambios de actitud que se desarrollan en una red de influencia interpersonal (Friedkin and Johnsen, 1990; Friedkin, 2006; Friedkin and Johnsen, 2011). (Newcomb, 1951) sugiere, que

la aparición de influencia interpersonal se encuentra entre los postulados básicos de la teoría psicológica social:

*Las actitudes de las personas generalmente se forman en entornos interpersonales en los que las posiciones influyentes sobre los temas están en desacuerdo y pueden cambiar.*

La red de influencia social (SIN) ha sido desarrollada continuamente desde la década de 1950 por (Johnsen, 1968; Harary, 1959; DeGroot, 1974; Friedkin and Johnsen, 1990). Es uno de los campos importantes directamente relacionados con la toma de decisiones grupales y SNA. En esta dirección relacionada, se han introducido estudios recientes sobre CGDM con incorporación de la teoría de la influencia social, derivados de las redes sociales. Brunelli et al. abordó la evaluación de Consenso considerando las fortalezas de la influencia de los expertos en una red social a través de una medida de centralidad de vector propio con un enfoque de relación de adyacencia borrosa. En (Kamis et al., 2019), se desarrolló un procedimiento de Consenso basado en el liderazgo, donde los gerentes de opinión pueden dar consejos e influir en la formación de juicio de una red social para lograr el Consenso. Otro estudio digno de mención fue realizado por Liang donde los autores modelaron la influencia social en términos de fortalezas vinculadas de los expertos en una red social, con el número de miembros en común las conexiones se combinaron con el número de sus interacciones directas. El factor de influencia es necesario que se implemente en los marcos de CGDM para asegurar la aceptación por parte de los expertos de los consejos de recomendación producidos por un algoritmo de mecanismo de retroalimentación para aumentar el Consenso. Al hacerlo, se pueden generar avisos de la persona más influyente en la red, lo que implícitamente trae consigo una declaración de confianza. Se ha argumentado que un mecanismo de retroalimentación guiado por relaciones de confianza es más realista que el mecanismo de retroalimentación tradicional porque los consejos generados son más persuasivos y aceptables por parte de un grupo de expertos (Chiclana et al., 2013; Cabrerizo et al., 2010a; Herrera-Viedma et al., 2014). (Pérez

## 2.4 Análisis del concepto de influencias en toma de decisiones multicriterio grupales.

---

et al., 2011) modelo procesos de influencia en GDM utilizando el enfoque recursivo presentado en Friedkin y Johnsen (Friedkin and Johnsen, 1990). Un enfoque reciente al modelado de influencias, es presentado por (Kamis et al., 2019) quien plantea: sea  $E$  un grupo de expertos,  $W = (w_{ij})_{m \times m}$  una matriz de adyacencia/similaridad que representa la importancia relativa de los expertos en las preferencias de otros, incluyéndolos a sí mismos, y  $y^1$  las preferencias iniciales de los expertos. Después de  $t$  iteraciones la preferencia influenciada puede estar dada por:

$$y^t = AWy^{(t-1)} + (I - A)y^1, \quad (2.28)$$

Donde  $A = \text{diag}(a_{1,1}, a_{2,2}, \dots, a_{m,m})$  es la susceptibilidad de los expertos a las influencias interpersonales y  $I$  es la matriz de identidad  $m \times m$ . Significativamente, la expresión anterior permite estimar la evolución de las preferencias de los expertos de forma iterativa hasta que el proceso alcanza un equilibrio, es decir,  $y^\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} y^t$  existe y se expresa de la siguiente manera:

$$y^\infty = (I - AW)^{-1}(I - A)y^1, \quad (2.29)$$

$$\text{Influence} = \frac{p(\langle \mathbf{x}_i^t, \mathbf{x}_j^{tT} \rangle > \langle \mathbf{x}_i^{t-1}, \mathbf{x}_j^{t-1} \rangle | a_{ij}^{t-1} = 0, a_{ij}^t = 1)}{p(\langle \mathbf{x}_i^t, \mathbf{x}_j^t \rangle > \langle \mathbf{x}_i^{t-1}, \mathbf{x}_j^{t-1} \rangle | a_{ij}^{t-1} = 0)} \quad (2.30)$$

### 2.4.2. Toma de decisiones en Gestión ambiental

Según (Linkov and Moberg, 2011) el análisis de decisión Multicriterio, es el conjunto de métodos y herramientas que provee una metodología matemática que incorpora la evaluación de diferentes decisores y grupos de interés como también información técnica para seleccionar la mejor alternativa al afrontar un problema; este análisis permite defender la toma de decisiones de forma más lógica y científica. Lo que esto manifiesta son las características inherentes de las decisiones ambientales que la hacen tan difícil. Los problemas ambientales a menudo

implican ciencia compleja y muchas partes interesadas, y las soluciones potenciales a menudo tienen que ser juzgadas contra muchos criterios para ser comparadas plenamente. Infortunadamente, nuestra tendencia humana básica es simplificar tales decisiones y situaciones complicadas hasta que sean manejables, lo que resulta en la pérdida de información sobre el problema, pérdida de información acerca de los puntos de vista, y pérdida de información acerca de la incertidumbre; en esencia, luchamos para incorporar toda la información disponible para tomar decisiones con pleno conocimiento de causa. El resultado puede ser preguntas y controversias, problemas por meses y años sin resolución satisfactoria (Linkov and Moberg, 2011).

Las decisiones ambientales requieren la participación de múltiples partes interesadas y tienen implicaciones a gran escala, que afectan el medio ambiente local y global. Según lo informado por Kalbar et al. (2012a), la selección de tecnología en la India está sesgada principalmente hacia un cierto número de criterios, como el cumplimiento de las normas regulativas estipuladas y el costo de la tecnología. Muchos otros criterios esenciales, como la ubicación, las condiciones socio económicas y los impactos en los receptores ambientales (como el aire, el suelo, los ríos y los lagos), no se tienen en cuenta cuando se toman decisiones con respecto a la selección adecuada de tecnología para un escenario dado. La elección incorrecta puede conducir a un desperdicio a largo plazo de recursos tales como energía y productos químicos. La asignación incorrecta de recursos financieros limitados también es una consecuencia no intencional de tal toma de decisiones (Kalbar et al., 2012a). Por lo tanto, es de suma importancia adoptar un procedimiento racional de toma de decisiones que seleccione tecnologías apropiadas de tratamiento de aguas residuales. Se han hecho muchos intentos para abordar los problemas de selección de tecnología de tratamiento de aguas residuales utilizando varios métodos de toma de decisiones de atributos múltiples (MADM) (Teclé et al., 1988; Ellis y Tang, 1991; Zeng et al., 2007).

Abordar el segundo desafío es más difícil ya que la inclusión de opiniones de expertos conver-

## 2.4 Análisis del concepto de influencias en toma de decisiones multicriterio grupales.

---

tirá el problema en un problema de toma de decisiones grupales (GDM) basado en escenarios más complicado. Yu y Lai (2011) presentaron un marco general para la metodología GDM de criterios múltiples. En GDM, los enfoques que se adoptan para la agregación de opiniones de expertos juegan un papel importante. La técnica para la ejecución de pedidos por similitud con la solución ideal (TOPSIS) y los procesos de jerarquía analítica (AHP) son los métodos MADM más utilizados para la toma de decisiones grupales (Ramanathan, 2001; Vaidya y Kumar, 2006; Shih et al., 2007; Aragonés-Beltrán et al., 2009; Behzadian et al., 2012). TOPSIS es el método preferido cuando los problemas de decisión involucran un gran número de atributos y alternativas, especialmente cuando hay datos objetivos o cuantitativos disponibles (Kalbar et al. 2012b). Sin embargo, TOPSIS no proporciona la comprobación de la ponderación o la coherencia de opiniones de expertos, que son muy cruciales en la toma de decisiones grupales.

### **2.4.3. Importancia de la influencia en la toma de decisiones ambientales**

De acuerdo con (Burgman, 2005), los problemas ambientales a menudo son divisivos, incluso en un ámbito técnico. (Krinitzsky, 1993) argumentaron que las personalidades fuertes influyen en los resultados. Los participantes defienden posiciones, las opiniones están ancladas, el cambio se resiste, las personas sostienen opiniones encubiertas que no se explican y existe una presión para ajustarse. (Borgatti et al., 2018; Scott and Carrington, 2011)

### **2.4.4. Influencia entre grupos de interés y Análisis de redes sociales**

Se han propuesto varios enfoques para investigar las relaciones entre las partes interesadas, como las redes de poder frente a las de interés, los diagramas de interrelación, el modelo de

urgencia-poder-legitimidad (Mitchell et al., 1997), o las matrices de vinculación de actores. Sin embargo, estas técnicas no permiten determinar un valor individual de la influencia de cada actor en un proceso de toma de decisiones. Recientemente, algunos autores han propuesto el Analisis-de-redes-sociales o SNA para calcular la influencia individual y la confianza de cada actor. Pero hasta donde los autores saben, estos índices de influencia nunca se han utilizado antes como ponderaciones individuales para los interesados dentro de un proceso de toma de decisiones.

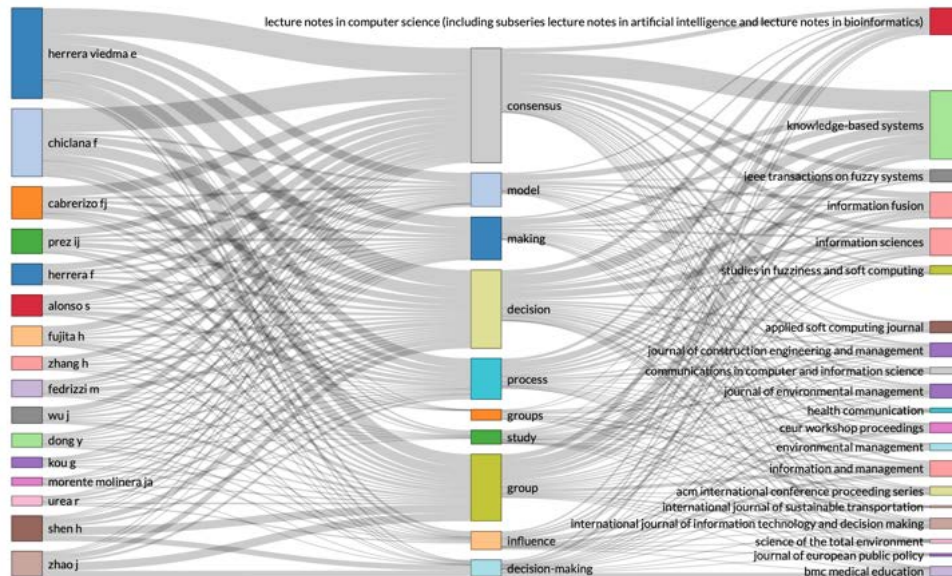
Las técnicas de ayuda en la decisión Multicriterio (MCDA, por sus siglas en inglés) son adecuadas para evaluar problemas complejos y de múltiples partes interesadas inciertos. Varios autores ya han introducido el uso de técnicas de MCDA para la evaluación de la sostenibilidad. Muchos de ellos se centraron en el uso del proceso de jerarquía analítica (AHP) o Métodos de clase Electre y Promethee. De todos ellos, el método AHP propuesto por (Saaty and Peniwati, 2013) ha sido elegido porque proporciona un marco fácil de entender para problemas de toma de decisiones o evaluación y también presenta sus puntos fuertes cuando trabaja en escenarios con poca información. AHP también tiene la posibilidad de combinar factores cuantitativos y cualitativos, manejar diferentes grupos de actores, combinar las opiniones expresadas por muchos expertos y puede ayudar en el análisis de las partes interesadas.

#### **2.4.5. Revisión documental - influencia para búsqueda de consenso en toma de decisiones grupales CGDM**

Se analizaron 414 artículos , durante un período de 1976 a 2019. Siguiendo el protocolo de revisión, hacemos búsquedas múltiples y refinamos los resultados incluyendo la palabra clave **influencias**.

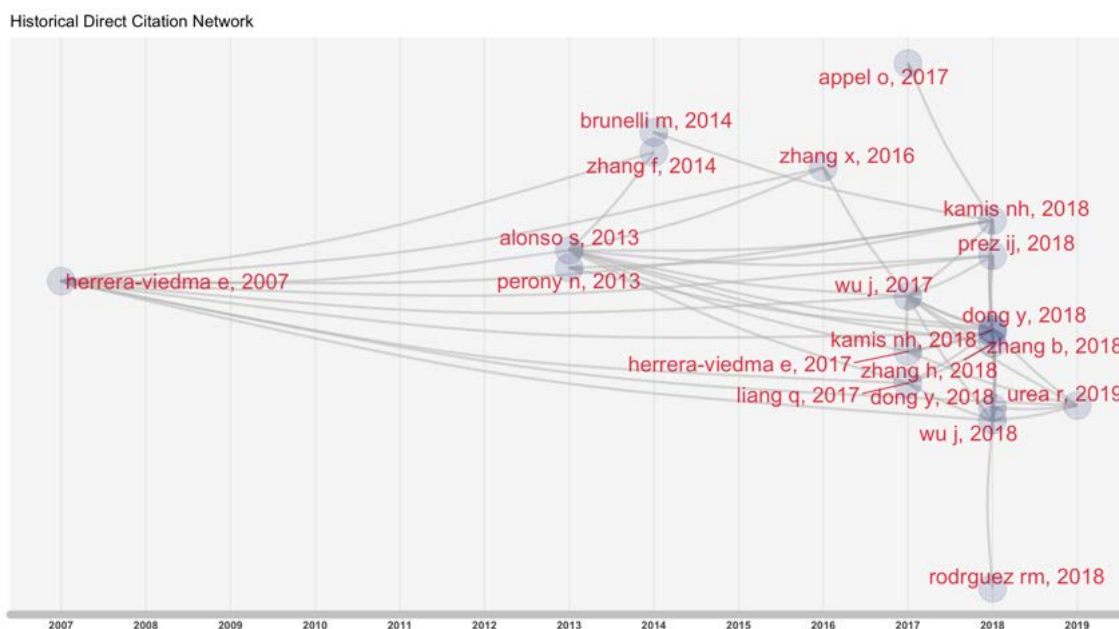


## 2.4 Análisis del concepto de influencias en toma de decisiones multicriterio grupales.



**Figura 2-18:** Impresión de tres campos en CGDM incluyendo influencias

El gráfico de tres campos muestra los temas más importantes, revistas, autores y las palabras clave que utilizan. Como podemos ver en la Figura 2-18, la revista más relevante en CGDM con influencia continua siendo es *knowledge-based systems*, seguida de *information sciences*. El mapa historio-gráfico es un gráfico propuesto por E. Garfield (Garfield, 2004) para representar un mapa de red cronológico de las citas directas más relevantes resultantes de una colección bibliográfica (Aria and Cuccurullo, 2017; Cobo et al., 2011). En la Figura 2-19 puede ver el mapa historiográfico, donde cada nodo representa un documento citado por otros documentos, cada borde representa una cita directa. Los nodos y los bordes se trazan en un gráfico orientado donde el eje horizontal representa los años de publicación. Desde 2-13 podemos observar que el trabajo fundamental sobre la toma de decisiones del Grupo de Consenso es "La toma de decisiones grupales con una mayoría lingüística difusa" dada por Kacprzyk en 1986 (Kacprzyk, 1986a). En la Figura 2-19 podemos ver las dinámicas de origen (número de publicaciones por año en cada revista) que se muestran como las tres



**Figura 2-19:** Citación directa histórica en CGDM con influencia

revistas más importantes de los últimos años *sistemas basados en conocimiento y ciencias de la información* también podemos ver las dinámicas de publicación de los autores más importantes en CGDM con influencia. De la figura **2-23** podemos observar que existen fuertes relaciones intelectuales y sociales entre los autores más importantes relacionados con CGDM con influencia. Estas dos redes se desarrollan teniendo en cuenta la medida central de la intermediación sobre los autores relacionada con el recuento de documentos. La ecuación de búsqueda utilizada para toma de decisiones grupal fue: *TITLE-ABS-KEY ( consensus AND group AND decision AND making ) AND Influence AND ( EXCLUDE ( SUBJAREA , "MEDI" ) ) AND ( EXCLUDE ( SUBJAREA , "NURS" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , ".EART" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "NEUR" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "PHAR" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "PHYS" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "MATE" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "HEAL" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , ÇENG" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "DENT" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "MULT" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , ÇHEM" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , İMMU" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "VETE" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , Üdefined" ) ) AND ( EXCLUDE ( SUBJAREA , .ARTS" ) OR*

2.4 Análisis del concepto de influencias en toma de decisiones multicriterio grupales.

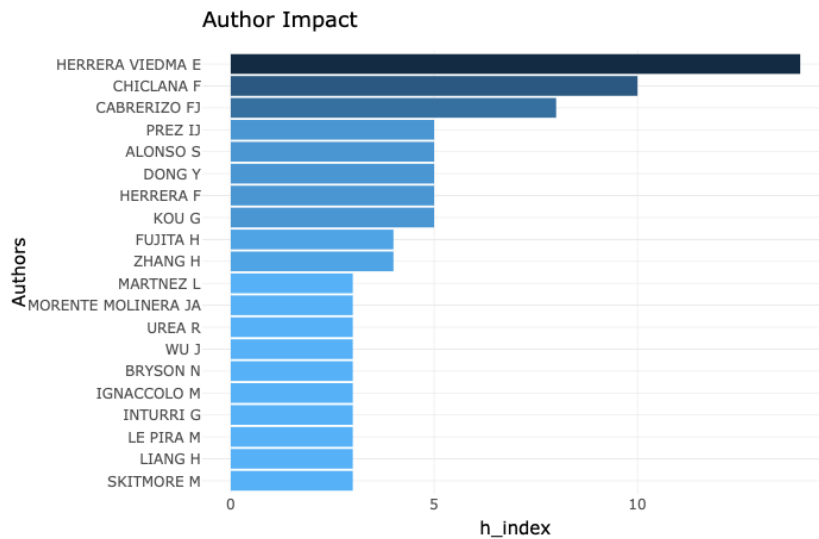


Figura 2-20: Crecimiento en las fuentes en el tiempo

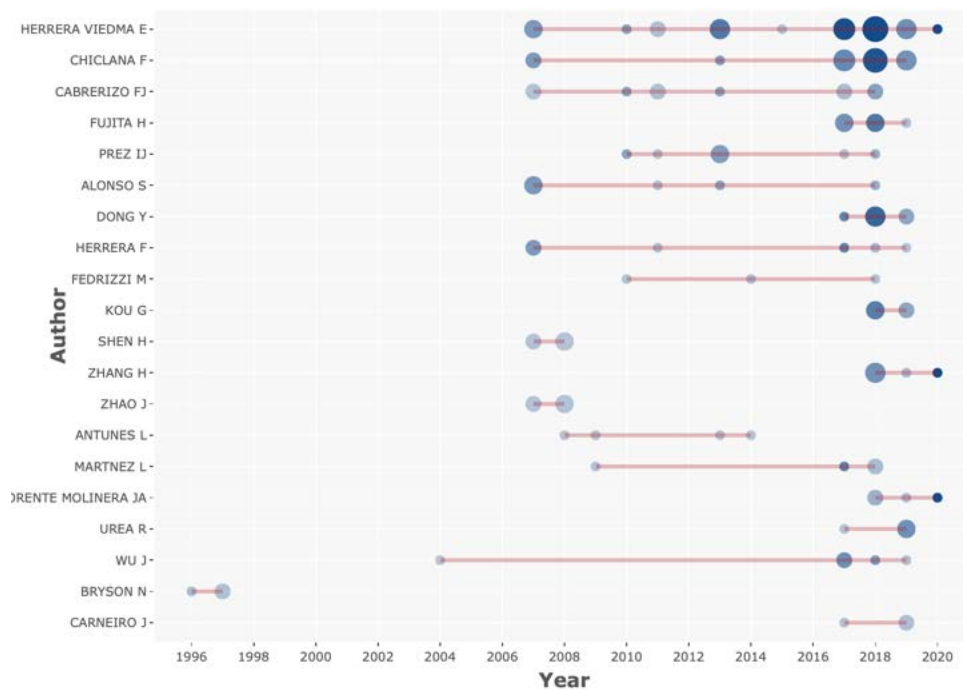
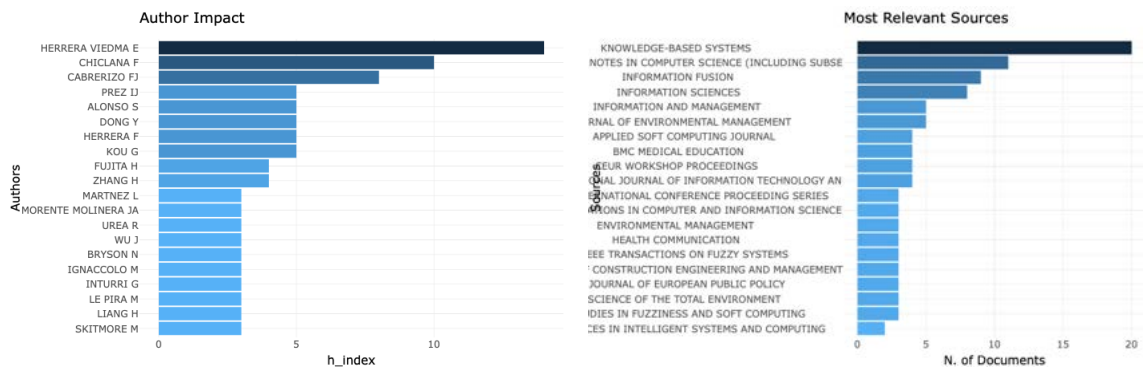


Figura 2-21: Producción de autores top en el tiempo

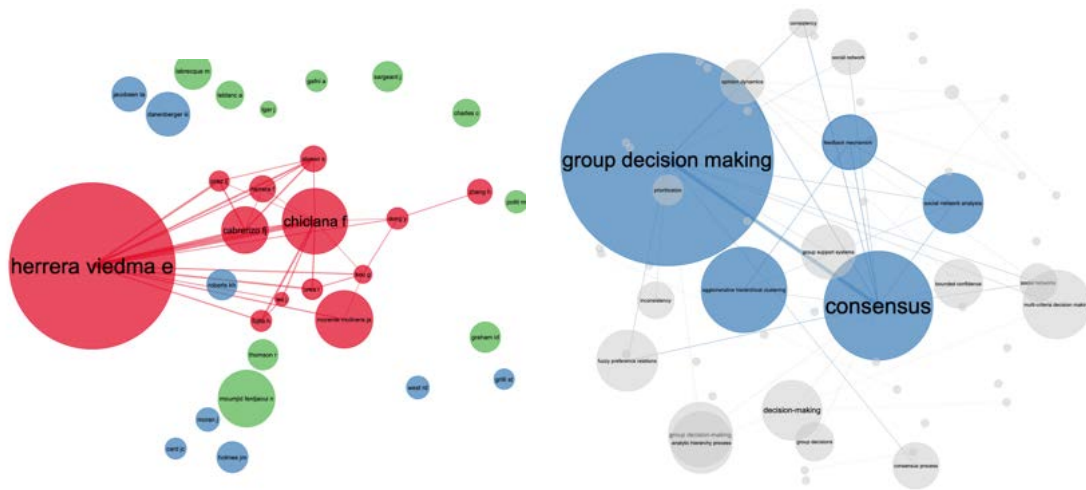


(a) Autores más relevantes.

(b) Fuentes más relevantes.

Figura 2-22: Autores y fuentes más relevantes

*EXCLUDE ( SUBJAREA , ^AGRI" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , ^ECON" ) OR EXCLUDE ( SUBJAREA , "BIOC" ) )*  
*AND ( EXCLUDE ( SUBJAREA , "PSYC" ) )*



(a) Redes de colaboración

(b) Co citaciones.

Figura 2-23: Redes de colaboración entre autores

## 2.5. Conclusiones del capítulo 2

- *Se caracterizó la evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en toma de decisiones multicriterio grupal.*
- *Se presentó al lector la taxonomía de la toma de decisiones grupal.*
- *Mediante el análisis de la bibliografía se identificaron los principales autores y los artículos más importantes en el tema.*
- *Se incluye el término de influencias para analizar y comparar la evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de consenso en toma de decisiones multicriterio grupal.*
- *Se identificaron los artículos seminales en el uso del término de influencias en análisis de decisiones.*
- *Mediante el análisis de la bibliografía se identificaron los principales autores y los artículos más importantes en el tema.*



# Capítulo 3

## Problema de Investigación

### 3.1. Justificación

En esta sección se muestra primero la pertinencia para la realidad nacional y posteriormente se aborda el vacío temático y las preguntas abiertas a las que se quiere contribuir con el desarrollo de esta tesis. La validación de la metodología planteada en esta propuesta se realizara en Boyacá (zona centro del país) debido a la motivación personal hacia la conservación del parque Nacional Natural El Cocuy. Sin embargo se evidencia a continuación la necesidad de esta propuesta en materia de gestión ambiental para el desarrollo sostenible del mismo y de sus zonas aledañas. También es importante indicar que la metodología a desarrollar busca ser aplicable en variados contextos de la toma de decisiones multicriterio grupal y no únicamente en gestión ambiental, esta área temática se escoge para su validación por el interés académico creciente e impacto social que son justificados en los acápite siguientes. En cuanto a la minería, según el estudio realizado por la (del Pueblo Colombia, 2010) “Minería de hecho en Colombia”, Boyacá es el segundo departamento a nivel nacional con mayores índices de minería de hecho, “el 69 % de la minería que se realiza en Boyacá es ilegal y genera muerte, contaminación y deterioro del medio ambiente.” Actualmente según el mismo

estudio se han asignado 3 títulos mineros en la zona del parque nacional natural el cocuy (1979 hectáreas) y 88 títulos mineros en el páramo de Pisba (13508 hectáreas). Según (del Pueblo Colombia, 2010) los títulos mineros otorgados en las diferentes zonas de páramo del país, corresponden a la exploración y explotación de oro o carbón, lo que convierte esta actividad en una de las mayores fuentes de amenaza para la estabilidad ecológica de estos ecosistemas y para la disponibilidad de agua de al menos el 70 % de la población colombiana.

En el presente proyecto, como se ha expresado anteriormente, se busca desarrollar una metodología para análisis y medición de influencia entre grupos de interés como herramienta para gestionar el cambio de preferencias y la persuasión de los expertos; debido a que en muchos procesos de toma de decisiones grupales, los decisores o grupos de interés no tienen la misma importancia y sus opiniones pueden cambiar, lo que supone dificultad para conseguir consenso tal como lo exponen (Keeney, 2013; Saaty and Peniwati, 2013). Son muchos los ejemplos en los cuales se desea buscar consenso en decisiones grupales, una visión inicial desde la administración de operaciones puede consultarse a (Cook and Seiford, 1978; Dyer and Sarin, 1979). Un grupo de interés particular tiene el poder de influenciar a otros grupos de interés en los procesos de toma de decisión tal como lo exponen (Keeney, 2013; Keeney and Kirkwood, 1975; Saaty and Peniwati, 2013). Es por ello que se debe prestar especial atención al análisis de influencias para buscar decisiones consensuadas. Actualmente se han aplicado métodos de áreas del conocimiento tan diversas como las ciencias sociales y las ciencias de la salud para abordar esta temática, entre los cuales se encuentran el análisis de grupos de interés (stakeholders), uso de procesos participativos, psicología social, métodos de votación, teoría de juegos, entre otros. Una de las aplicaciones más recurrentes se puede notar en las decisiones ambientales, por tratarse de problemas de gran complejidad y múltiples grupos de interés con funciones de valor propias, tal como puede consultarse en (Aragónés-Beltrán et al., 2015; Linkov and Ramadan, 2004; Linkov and Moberg, 2011; Prell et al., 2009; Reed et al., 2009; Reed, 2008)



### 3.1.1. Situación actual - Problemática en búsqueda de consenso para toma de decisiones grupales multicriterio

Según (Fu et al., 2014) en la toma de decisiones grupales, el consenso generalmente ha sido alcanzado por la modificación de las evaluaciones de los expertos o por el ajuste de los pesos de los expertos. Una revisión de la literatura existente (Fu et al., 2014; Parreiras et al., 2010; Ben-Arieh and Chen, 2006b) revela dos métodos principales para llegar a un consenso predefinido en toma de decisiones grupales:

- **Ajustar los pesos relativos de expertos con grupo de discusión:** Los expertos dan sus opiniones una vez y estas se combinan en una opinión colectiva utilizando un operador de agregación de pesos. El peso asociado a cada opinión se ajusta a través de la ejecución de un procedimiento sistemático o un algoritmo de optimización con el fin de reducir o minimizar la discrepancia entre la opinión colectiva y cada opinión individual. Las principales desventajas de este enfoque son: la opinión de un experto inconsistente o discordante pero con un profundo conocimiento en el problema, puede dejarse de lado por la reducción excesiva del peso asociado a su opinión; el proceso de obtención de un conjunto adecuado de pesos puede exigir de alto esfuerzo computacional. Algunos ejemplos de este método pueden consultarse en (Ben-Arieh and Chen, 2006b).
- **La renovación de las opiniones de expertos:** El peso asociado a cada opinión se mantiene fijo durante todo el proceso de discusión. El consenso se logra sólo preguntando a los expertos más discordantes para actualizar sus opiniones. Este enfoque también tiene algunos aspectos negativos: el buscar alcanzar un nivel adecuado de consenso, un experto discordante puede tener que cambiar drásticamente su posición inicial (tal vez de una manera injustificada); los expertos podrán ser invitados repetidamente para revisar sus respectivas opiniones. De esta manera, este enfoque exige con frecuencia un mayor esfuerzo intelectual de los profesionales. Ver (Parreiras et al., 2010) para

ejemplos de este enfoque

Según (Fu et al., 2014) suponiendo que el consenso se puede alcanzar mediante la modificación de las opiniones de expertos en toma de decisiones grupales, los investigadores han propuesto muchos enfoques para acelerar la convergencia a un consenso mediante la discusión grupal, recomendaciones de opinión o su combinación (Alonso et al., 2010; Cabrerizo et al., 2010b; Herrera-Viedma et al., 2002; Herrera-viedma et al., 2007). Por otra parte, existen también quienes argumentan que la exigencia de los expertos para renovar sus opiniones puede hacer que se den opiniones no auténticas a fin de llegar a un consenso más rápidamente (Ben-Arieh and Chen, 2006b), debido a esto muchos prefieren el ajuste de los pesos relativos de los expertos para llegar a un consenso. El principal problema de este método es que la opinión de un experto discordante, pero con un profundo conocimiento y experiencia en el problema, puede ser descuidado por el peso considerablemente bajo asignado por el moderador o un algoritmo de optimización (Parreiras et al., 2010).

Tal como se detallo en la sección de Introducción, la búsqueda de consenso tal como lo expresan (Cabrerizo et al., 2013) presenta retos y preguntas abiertas que deben tratarse en las siguientes temáticas: (1) el asesoramiento, (2) modelos de consenso basados en la confianza, (3) visualización y verbalización del proceso, (4) importancia de los expertos, (5) contextos dinámicos de decisión, y (6) persuasión. A continuación, se presenta la situación actual y deseada respecto al objeto de esta investigación.

### **3.1.2. Situación actual - El problema en la búsqueda de consenso y el análisis de influencias en decisiones grupales ambientales**

La complejidad de los problemas ambientales requiere un proceso de decisión transparente y flexible que integre diferentes áreas de conocimiento y valores (Reed, 2008). Sin ayuda, estamos muy mal en la toma de decisiones complejas y las decisiones ambientales a menudo

caen en esta categoría (McDaniels et al., 1999).

En los problemas ambientales, los aportes esperados incluyen el modelado o seguimiento de datos, análisis de riesgos, análisis de costo o de costo-beneficio, y la agregación de preferencias de los grupos de interés, lo cual supone un importante desafío. Este proceso de agregación puede ser opaco y parecer injusto, sobre todo cuando las preferencias de los interesados no se tratan de una manera que se percibe como objetiva (Linkov and Ramadan, 2004). Según (Prell et al., 2009) el incremento en el uso de análisis de grupos de interés en la gestión ambiental muestra un creciente reconocimiento al hecho que los grupos de interés pueden y deben influenciar la toma de decisiones ambientales. Según (Aragonés-Beltrán et al., 2015) la influencia de la participación de los grupos de interés en la planificación ambiental es un problema real que no ha sido abordado en la literatura existente. Las influencias entre grupos de interés buscan satisfacer sus propios intereses y deben ser analizadas con el fin de hacer un modelo del problema que esté más cerca de la realidad. La principal conclusión del trabajo citado anteriormente es la posibilidad de usar ANP para analizar la influencia entre grupos de interés en una Red Social; pero como lo exponen los autores, para que este modelo funcione apropiadamente el problema principal es la definición de “influencia” para los grupos de interés.

#### **3.1.3. Situación deseada – Desarrollo de una metodología para buscar consenso en decisiones grupales mediante análisis de influencias entre participantes**

Según (Zavadskas et al., 2014) el desarrollo de métodos híbridos y modulares se está convirtiendo en un tema cada vez más importante. Estos modelos híbridos surgen a partir de métodos como TOPSIS, SAW, DEA, AHP, ANP, Vikor, DEMATEL, DEA, PROMETHEE, ELECTRE (entre los cuales DEMATEL y ANP son utilizados para incluir influencias) y son

modificados, mediante la aplicación de la teoría de números borrosos y números borrosos grises (fuzzy and grey number theory). Otros métodos desarrollados recientemente, como COPRAS, ARAS, Moora, MULTI Moora, Swara y waspas se desarrollan rápidamente y se aplican para resolver problemas prácticos; este mismo autor sugiere que se realicen revisiones en trabajos referentes a métodos híbridos y se publique al respecto ya que actualmente no existen estas revisiones, el autor expone “Con el fin de ayudar a los investigadores y profesionales interesados en las técnicas MCDM híbridos y aplicaciones de métodos MCDM híbridos, es necesario para publicar revisiones sobre estas cuestiones en el futuro.” De acuerdo con (Kilgour and Eden, 2010) los métodos estándar de toma de decisiones grupales ofrecen representaciones relativamente estáticas que no captan necesariamente relaciones dinámicas de causa-efecto, o argumentos verbales que sustentan preferencias declaradas lo cual dificulta llegar a un consenso.

#### 3.1.4. Vacío temático que aborda el documento

La búsqueda de consenso tal como lo expresan (Cabrerizo et al., 2013) presenta retos y preguntas abiertas que deben tratarse en las siguientes temáticas: (1) el asesoramiento, (2) modelos de consenso basados en la confianza, (3) visualización y verbalización del proceso, (4) importancia de los expertos, (5) contextos dinámicos de decisión, y (6) persuasión. Esta propuesta se enfoca en las temáticas 4 y 6 como las mas relevantes; sin embargo, propone ayudas para las temáticas 1,3 y 5 tal como se expone en la sección de metodología mas adelante. Se describen a continuación los dos retos a los que se dio mayor prioridad:

- **Importancia de los expertos:** Según (Fu et al., 2014) citando a (Parreiras et al., 2010) cuando se trata con decisiones grupales, es crucial considerar los diferentes tipos de incertidumbre, los cuales son según (Lu et al., 2007): (1) las preferencias del decisor sobre las alternativas, (2) el rol del decisor (es difícil asignar un peso a la opinión de cada experto) y (3) la importancia de cada criterio. La importancia de los expertos

### 3.1 Justificación

---

trata con el segundo tipo de incertidumbre. Según (Cabrerizo et al., 2013) en la toma de decisiones grupales, hay muchas situaciones donde el conocimiento de los expertos no es igualmente importante (Herrera-viedma et al., 2007; Herrera et al., 1996a; Herrera et al., 1997). Para modelar estas situaciones el enfoque más común en la literatura consiste en la asignación de un peso a los expertos en el grupo. Los modelos de consenso han tomado en cuenta la heterogeneidad de los expertos cuando agregan sus opiniones para obtener la preferencia colectiva pero no cuando asesoran a los expertos cómo cambiar sus preferencias para aumentar el nivel de consenso. Es por esto que estos autores proponen “es importante desarrollar modelos de consenso que tomen en cuenta los pesos de los expertos (su importancia), no solamente agregando sus preferencias sino también asesorando como cambiar sus preferencias”. Acorde a (Fu et al., 2014) en el análisis de decisiones en grupo, el consenso generalmente ha sido alcanzado por una de dos estrategias, la modificación de las evaluaciones de los expertos y el ajuste de los pesos de los expertos.

- **Persuasión (Influencia social):** Según (Cabrerizo et al., 2013) una de las tareas del moderador en los procesos de consenso es asesorar a los expertos en cómo pueden cambiar sus opiniones buscando incrementar el nivel de consenso, lo cual es una tarea complicada. Por lo cual estos mismos autores sugieren utilizar herramientas propias de la psicología para influenciar a los expertos a cambiar sus actitudes, creencias o comportamientos mediante técnicas representadas en seis grupos: (1) Prueba social: la gente hará lo que ve que hacen los demás, (2) autoridad: las personas tienden a obedecer a las figuras de autoridad, (3) vinculación: las personas son fácilmente persuadidas por otras personas cercanas, (4) escasez: los elementos o recursos escasos son más demandados, (5) consistencia: si la gente se compromete verbalmente o por escrito a alcanzar una meta, son más propensos a cumplir este compromiso, y (6) reciprocidad: la gente tiende a devolver un favor.

Recientemente algunos autores (Aragonés-Beltrán et al., 2015; Wu and Chiclana, 2014; Wu et al., 2015) han abordado el estudio de la importancia de los expertos y la influencia entre ellos (Wu et al., 2015) estudia la influencia entre decisores con las medidas de cercanía propias del análisis de redes sociales (SNA por su siglas en inglés para Social Network Analysis). Por otra parte (Wu and Chiclana, 2014; Wu et al., 2015) propone el análisis de redes sociales para medir consensos y confianza entre los decisores.

## 3.2. Objetivos de la tesis doctoral

### Objetivo General

*Establecer una metodología para análisis y medición de influencias con el fin de buscar Consenso en la toma de decisión Multicriterio grupal MCGDM*

### Objetivos específicos

1. Caracterizar la evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de Consenso en la toma de decisiones Multicriterio grupal.
2. Analizar y comparar los métodos aplicados a la toma de decisiones Multicriterio grupal MCGDM, y las técnicas para medición y análisis de influencias que se han combinado o que puedan combinarse con técnicas Multicriterio.
3. Establecer la importancia de usar métodos de análisis de influencias en la toma de decisiones grupal existentes y su impacto en la gestión ambiental.
4. Proponer una metodología que permita medir y analizar la importancia de los decisores y su influencia con el fin de buscar Consenso en la toma de decisiones Multicriterio grupal

5. Aplicar la metodología en un caso de estudio colombiano en gestión ambiental.

### 3.3. Hipótesis de la tesis doctoral

Dada las diferencias contextuales en los problemas de decisión, tales como contar con información cualitativa o cuantitativa, escalas diferentes, juicios de valor, asimetría de información entre participantes; la naturaleza de estos problemas variados sugiere técnicas que puedan adaptarse a estos contextos diversos, un ejemplo de esto lo sugiere (Zavadskas et al., 2014). Al notar la necesidad de desarrollar métodos híbridos y modulares para procesos de decisión. Estos modelos híbridos surgen a partir de métodos conocidos como TOPSIS, SAW, DEA, AHP, ANP, Vikor, DEMATEL, DEA, PROMETHEE, ELECTRE entre los cuales DEMATEL y ANP son utilizados para incluir influencias y son modificados, mediante la aplicación de la teoría de lógica difusa y números grises fuzzy and grey number theory.

Otros métodos desarrollados recientemente, como COPRAS, ARAS, Moora, MULTI Moora, Swara, Wings y waspas se desarrollan rápidamente y se aplican para resolver problemas prácticos; el mismo autor sugiere que se realicen revisiones en trabajos referentes a métodos híbridos y se publique al respecto ya que actualmente no existen estas revisiones, el autor expone *Con el fin de ayudar a los investigadores y profesionales interesados en las técnicas MCDM híbridos y aplicaciones de métodos MCDM híbridos, es necesario para publicar revisiones sobre estas cuestiones en el futuro.*

(Kilgour and Eden, 2010) exponen que los métodos estándar de toma de decisiones grupales ofrecen representaciones relativamente estáticas que no captan necesariamente relaciones dinámicas de causa-efecto, o argumentos verbales que sustentan preferencias declaradas lo cual dificulta llegar a un Consenso. De la revisión bibliográfica y la situación actual de los problemas se muestran a continuación las necesidades e hipótesis que se identificaron:

- **Necesidad 1:** Utilizar métodos híbridos en la búsqueda de Consenso para decisiones

grupales por lo cual se realizara una revisión de los métodos Multicriterio grupales híbridos y modulares.

- **Necesidad 2:** Abordar el problema: la opinión de un experto inconsistente o discordante pero con un profundo conocimiento en el problema, puede dejarse de lado por la reducción excesiva del peso asociado a su opinión; el proceso de obtención de un conjunto adecuado de pesos puede exigir de alto esfuerzo computacional. Por lo cual se realizara una revisión de los métodos de análisis y medición de influencias para solucionar el problema de discordancia, con la intención de propiciar el Consenso grupal.
- **Necesidad 3:** Proponer una metodología que integre herramientas de persuasión con MCGDM.
- **Hipótesis 1:** Es posible elaborar una revisión de los métodos : (1) toma de decisiones Multicriterio grupales MCGDM, incluyendo métodos híbridos (2) Análisis de influencias que hagan parte o puedan combinarse con toma de decisiones Multicriterio grupales MCGDM (3) herramientas de persuasión propias de la psicología.
- **Hipótesis 2:** Es posible generar una descripción del término “influencias” a partir de en el contexto del análisis de decisión Multicriterio grupal MCGDM.
- **Hipótesis 3:** Es posible desarrollar una metodología para toma de decisiones Multicriterio grupal que analice y mida las influencias entre grupos de interés para buscar Consenso.
- **Hipótesis 4:** Es posible aplicar esta metodología en un caso de estudio en gestión ambiental.



### 3.4. Metodología de la investigación

El estudio desea establecer una metodología para análisis y medición de influencias con el fin de buscar Consenso en la toma de decisión Multicriterio grupal MCGDM. Se utiliza la revisión y análisis documental de métodos de toma de decisión Multicriterio grupal, técnicas para medición y análisis de influencias, y establecer así la importancia del análisis de influencias en la toma de decisiones Multicriterio grupal.

**a) Revisión del Estado del Arte- Etapa 1:** Consulta y análisis de la documentación sobre toma de decisiones Multicriterio grupal, análisis de influencias, búsqueda de Consenso. Estudio documental: Libros, informes, videos, revisiones, artículos científicos, memorias de eventos internacionales, sistemas de información geográfica nacionales, páginas web de entidades gubernamentales a nivel nacional, regional y local. Revisión documental sobre la normativa y reglamentación concerniente parques naturales en Colombia. Esta fase presenta una relación directa para el cumplimiento de los objetivos específicos: (1) Caracterizar la evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de Consenso en la toma de decisiones Multicriterio grupal. (2) Analizar y comparar los métodos aplicados a la toma de decisiones Multicriterio grupal (MCGDM), y las técnicas para medición y análisis de influencias que se han combinado o que puedan combinarse con técnicas Multicriterio.

**b) Identificación y estructuración - Etapa 2:** En esta etapa es necesario caracterizar y analizar el objeto de trabajo (análisis de influencias en toma de decisiones grupales) para desglosar de allí variables relevantes para búsqueda de Consenso. Se identifican las técnicas Multicriterio y técnicas de análisis de influencias existentes, y se propone con base a esto una solución para: (1) Asignar peso (importancia) de cada decisor. (2) cambio de opiniones para buscar Consenso (persuasión).

Esta fase presenta una relación directa para el cumplimiento de los objetivos específicos

(3) establecer la importancia de usar métodos de análisis de influencias en la toma de decisiones grupal existentes y su impacto en la gestión ambiental, (4) proponer una metodología que permita medir y analizar la importancia de los decisores y su influencia con el fin de buscar Consenso en la toma de decisiones Multicriterio grupal.

**c) Propuesta y desarrollo metodológico - Etapa 3:** En esta etapa se propone la metodología y se valida mediante un estudio de caso en gestión ambiental, dada su relevancia académica y contribución social.

### 3.5. Preguntas de investigación

- De los métodos de toma de decisión grupales, ¿Cuál es el más apropiado para manejar influencias en decisiones participativas en el contexto ambiental?
- ¿Qué métodos deben combinarse para obtener un modelo híbrido que gestione: (1) la importancia de los decisores, (2) el cambio de sus opiniones, y (3) la influencia entre decisores?
- ¿Qué métodos de otras áreas del conocimiento pueden combinarse con MCDA para realizar medición y análisis de influencias entre decisores?
- ¿El manejo de influencias entre decisores aporta a la solución los retos en importancia y persuasión postulados al inicio del documento?

## Capítulo 4

# Metodología para la búsqueda de consenso en toma de decisiones multi-criterio grupal

Este capítulo da cumplimiento al cuarto objetivo específico de la tesis doctoral.

- *Proponer una metodología que permita medir y analizar la importancia de los decisores y su influencia con el fin de buscar consenso en la toma de decisiones multicriterio grupal.*

### 4.1. Desarrollo de la metodología

El propósito del análisis de las partes interesadas es comprender su comportamiento, expectativas, relaciones, influencias y recursos que pueden aportar al proceso de toma de decisiones. Prell (Prell et al., 2009) sugiere que el uso creciente del análisis de partes interesadas en la gestión de los recursos naturales refleja el reconocimiento que las partes interesadas pueden y deben incidir en los procesos de toma de decisiones ambientales. En este documento, se

propone una metodología basada en una combinación de técnicas de *soft-consensus*, SCA y AHP para ayudar a los administradores ambientales a definir y cuantificar los factores que afectan los objetivos de conservación, teniendo en cuenta las opiniones de los diversos interesados. Este trabajo proporciona una novedad, que consiste en utilizar el análisis de consenso suave, junto al análisis de redes sociales y DEMATEL para identificar a los actores más influyentes. Por lo tanto, se puede calcular una influencia numérica y esta información se puede considerar para la agregación final de las prioridades alternativas en el modelo de evaluación. Los pasos seguidos en la metodología se muestran en la Figura 4-1.

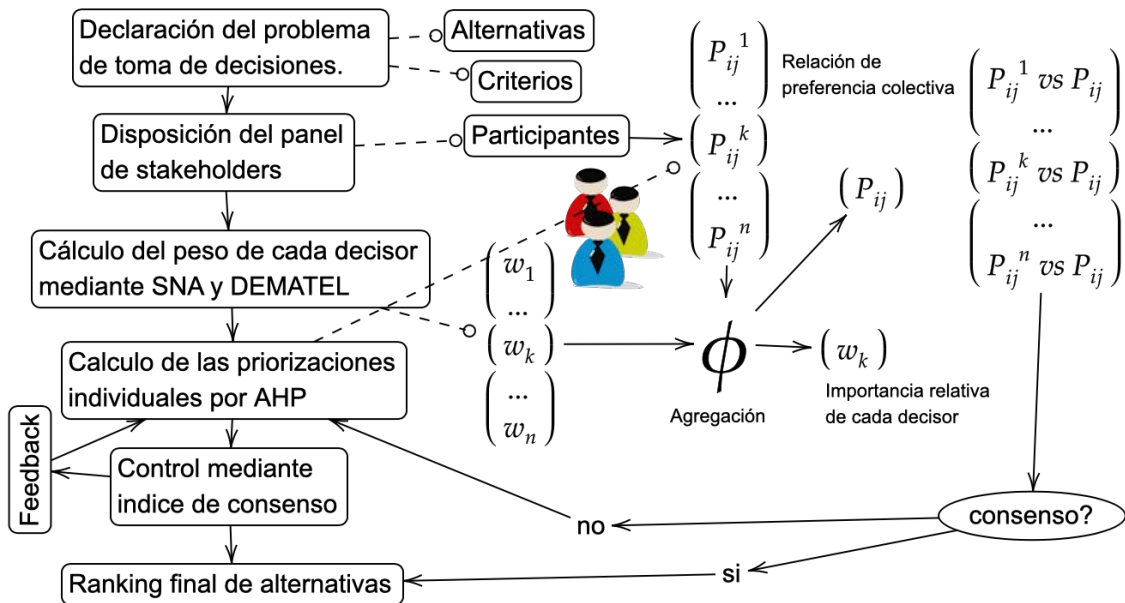


Figura 4-1: Metodología desarrollada

#### 4.1.1. Declaración del problema de decisiones

Según (Belton and Stewart, 2002): *La construcción de modelos debe considerarse como un proceso muy dinámico, informado e informando el proceso de estructuración del problema e interactuando con el proceso de evaluación.* Este proceso de declaración implica cambios

## 4.1 Desarrollo de la metodología

---

constantes y mucha iteración. Deben ampliarse y reducirse, constantemente la cantidad de criterios y alternativas, el proceso es contextual y los juicios de los participantes suelen cambiar por estímulos externos. Los elementos clave del modelo son:

- Las alternativas (opciones, estrategias, planes de acción) a evaluar.
- Las valoraciones (criterios, objetivos, metas) contra los cuales serán evaluados.
- Interesados y participantes clave, su perspectiva sobre la decisión y como se tendrán en cuenta.
- Incertidumbres clave, tanto internas como externas, y cómo estos serían modelados.

Estos elementos son, por supuesto, interdependientes y no pueden considerarse de forma aislada, como quedará claro en la siguiente discusión.

### 4.1.2. Disposición del panel de *stakeholders*

De acuerdo con (Tuckman, 1965) existen cuatro etapas de desarrollo de grupos, las cuales se describen a continuación:

- **Formación:** Esta etapa el grupo esta formándose, los miembros exploran el nivel de compromiso, experiencia y autoridad de los demás participantes mientras evalúan su importancia relativa con respecto al proceso de decisión.
- **Enfrentamiento:** Es donde las relaciones de poder surgen. Se presentan posiciones de anclaje y comportamientos conflictivos.
- **Normalización:** Es también llamada la etapa de solución de conflictos, los miembros tienen confianza entre si y se consiguen acuerdos.
- **Desempeño:** En esta etapa la confianza ya es alta entre los participantes, la información se comparte libremente.

Cualquier problema abordado pro un grupo se compone de objetivos, metas, criterios, diversos intereses, influencias y resultados múltiples.

### 4.1.3. Cálculo de influencia y peso de los participantes

Los problemas de decisiones grupales describen situaciones en las cuales los expertos presentan diversos niveles de importancia; las decisiones tomadas en juntas medicas son un ejemplo de ello, donde participan expertos con diversa experiencia y formación. Se toman todas las opiniones para finalmente dar un diagnostico que reúna las opiniones de los participantes (Chiclana et al., 2007; Herrera et al., 1998). Para modelar estas situaciones complejas, la literatura indica que la asignación de un peso a los expertos debe reflejar la relevancia del experto en el grupo(Herrera et al., 1996a). La pregunta que se utiliza para determinar el nivel de influencia que puede tener un participante sobre los demás se construye a partir del estudio de la **presión normativa percibida** (Fishbein et al., 2001), donde se identifica a aquellos individuos o grupos que pueden estar ejerciendo presión sobre el individuo para realizar o no realizar el cambio de comportamiento. Existe evidencia considerable de que los individuos y los grupos pueden influir en el comportamiento, incluso cuando no son percibidos como fuentes de refuerzos positivos o negativos.

Como indica (Fishbein, 1975), las personas a menudo pueden realizar un comportamiento porque creen que otros piensan que deberían realizar ese comportamiento, aunque el otro participante nunca sepa si lo han hecho o no. Para comprender completamente por qué una persona realiza o no un comportamiento determinado, es necesario evaluar en qué medida el individuo percibe la presión social para realizar o no el comportamiento en cuestión, es por esto que la pregunta propuesta para determinar el nivel de influencia sobre cada participante es la percepción que tenga sobre los demás participantes:

*”¿Qué parte del grupo de interés cree que puede estar de acuerdo con su opinión sobre .....?”.*

### Propuesta de medida basada en: Análisis de redes sociales y centralidad de Sabidussi

Existen muchas medidas de proximidad como se puede revisar en el capítulo 2, en este trabajo utilizamos la medida (Sabidussi, 1966). La proximidad se calcula de la siguiente manera:

$$C'_c(n_i) = \frac{g - 1}{\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)} \quad (4.1)$$

En donde:  $d(n_i, n_j)$  es la distancia entre el actor  $n_i$  y el actor  $n_j$ ,  $g$  es el número total de actores en la red. La medida de cercanía propuesta por Sabidussi puede verse como la distancia promedio inversa entre el actor (parte interesada en nuestro problema)  $i$  y todos los demás actores. La proximidad es una medida inversa de la centralidad en el sentido de que los números grandes indican que un nodo es altamente periférico, mientras que los números pequeños indican que un nodo es más central. Un índice de proximidad más bajo de un actor muestra una mayor importancia de este actor. Representamos el índice de importancia como el peso  $W_j$  de cada actor al normalizar una medida opuesta  $I$ , como sigue:

$$I = \frac{1}{C'_c(n_i)} \quad (4.2)$$

Siendo  $I$  la importancia del actor  $n_i$  representada como la influencia sobre todos los actores y  $W_j$  es el peso para cada actor.

$$W_j = \frac{I_j}{\sum_j I_j} \quad (4.3)$$

Para determinar el grado de influencia o importancia de los actores, se construirá una red social de actores y luego se medirá la centralidad de la proximidad de cada actor en esta red en particular. Se utilizará UCINET, una herramienta de software especializada para SNA. Para construir la red, se diseñará un cuestionario en el que se le preguntará a cada parte interesada cuál es su opinión sobre el nivel de acuerdo con el resto de las partes interesadas.

### Propuesta de medida basada en: DEMATEL

De acuerdo con (Baykasoglu et al., 2013; Dalalah et al., 2011) DEMATEL puede usarse para calcular el peso de los criterios en los problemas de MCDM de la siguiente manera.

$$r_i + c_i = t_i^+ = \sum_{j=1}^n t_{i,j} + \sum_{j=1}^n t_{j,i} \quad (4.4)$$

donde  $t_i^+$  representa el factor de importancia de cada elemento evaluado.

$$r_i - c_i = t_i^- = \sum_{j=1}^n t_{i,j} - \sum_{j=1}^n t_{j,i} \quad (4.5)$$

donde  $t_i^-$  representa el factor de influencia de cada elemento evaluado.

$$w_i = ((t^+)^2 + (t^-)^2)^{1/2} \quad (4.6)$$

donde  $w_i$  representa la distancia euclidiana de cada factor evaluado y considera la importancia  $t_i^+$  e influencia  $t_i^-$  de todos los nodos.

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4.7)$$

Finalmente, normalizamos la matriz  $w_i$  y obtenemos los pesos para todos los ítems bajo evaluación.

### Método propuesto para la ponderación basado en la influencia DEMATEL $t_i^-$

Dado que se quiere ver la influencia de cada DM en todos los demás participantes, proponemos: desde eq 4.5 obtener valores de influencia de cada tomador de decisiones, de forma similar a los valores de centralidad obtenemos la capacidad de cambiar los juicios sobre otras decisores. Más adelante, se muestran sus similitudes con un ejemplo numérico en la última sección de este documento. Se propone usar solo la influencia  $t_i^-$ , como valores positivos agregando el doble del valor absoluto del mínimo.



$$W(t_i) = \begin{cases} \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} & \text{if any } t_i^- \in \{\mathbf{R} < 0\} \\ \frac{t_i^-}{\sum_{i=1}^n t_i^-} & \text{if } t_i^- \in \{\mathbf{R} \geq 0\} \end{cases} \quad (4.8)$$

Donde  $W(t_i)$  es el peso final para cada decisor,  $t_i^-$  es el vector de influencia y  $\omega_i = t_i^- + 2|\min_{i=1}^n t_i^-|$  son valores positivos de  $t_i^-$ .

#### 4.1.4. Cálculo de las priorizaciones individuales mediante Proceso Analítico jerárquico

##### El proceso analítico jerárquico

Según Saaty (Saaty and Peniwati, 2013) el PAJ es una herramienta útil para estructurar problemas complejos en los que influyen múltiples criterios y al mismo tiempo clasificar en orden de importancia un conjunto de alternativas. La lógica del método es: Inicialmente se realiza una estructura jerárquica en donde se identifica el problema de decisión principal, luego se identifican los criterios y sub criterios que se tienen en cuenta para la toma de la decisión. Estos criterios se ponen en niveles de importancia que se denominan jerarquías. El último nivel corresponde al conjunto de alternativas que serán evaluadas respecto a cada uno de los criterios y sub criterios. Esta evaluación se desarrolla mediante una serie de comparaciones binarias en una matriz  $n \times n$ , donde  $n$  es el número de elementos a ser comparados. Para poder realizar la comparación se requiere de una escala. Propuso una escala entre 1 y 9 en donde cada valor intermedio tiene una interpretación para el decisor.

**Tabla 4-1:** Escala verbal de Saaty. Fuente: (Saaty, 1977)

Intensidad Relativa	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro

**Table 4-1 Continua de la página anterior**

<b>Intensidad Relativa</b>	<b>Definición</b>
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro

Los valores 2, 4, 6 y 8 son valores intermedios que pueden utilizarse en algunos casos. El siguiente paso es encontrar las prioridades relativas de los criterios y/o las alterativas. Este paso se basa en la teoría del eigenvector. Por ejemplo si una matriz de comparación es  $A$ , entonces:

$$Aw = \lambda_{\text{máx}} w \quad (4.9)$$

Donde  $w$  corresponde al vector columna de los pesos relativos que se obtienen realizando el promedio de cada renglón de la matriz de comparación normalizada. La normalización de la matriz se realiza dividiendo cada uno de los elementos de cada columna por la suma de todos los elementos de la misma. El valor de  $\lambda_{\text{máx}}$  se obtiene al sumar el vector columna correspondiente a la multiplicación de la matriz de comparación original con el vector columna de pesos relativos.

$$\lambda_{\text{máx}} = \sum_i^n Aw \quad (4.10)$$

Debido a que las comparaciones se realizan subjetivamente, se requiere de un índice de consistencia para medir la coherencia de quien realiza las calificaciones. El índice de consistencia se calcula de la siguiente manera:

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (4.11)$$

La relación de consistencia CR se calcula de la siguiente forma:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.12)$$

En donde el ratio de inconsistencia RI es una constante de comparación que depende del tamaño de la matriz de comparación pareada para tamaños de  $n=9$  (nuestra matriz de criterios x criterios)  $RI = 1.45$

### 4.1.5. Propuesta de método para reducir inconsistencia en matrices de comparaciones pareadas

Primero sobre cada matriz de comparaciones por pares se debe realizar un censo de triadas directas. Este censo de triadas se realiza utilizando el algoritmo implementado por (Wasserman and Faust, 1994; Batagelj and Mrvar, 2001) como se puede ver a continuación:

Esta mejora se basa en el trabajo propuesto por Kendall y Babington (Kendall and Smith, 1940) en 1940 *Sobre el método de las comparaciones pareadas* y ampliado por Kulakowski en 2018 (Kulakowski, 2018). Este enfoque inicial para mejorar la consistencia consiste en una variación del problema de cobertura de conjunto propuesto por karp en 1972 (Karp, 1972) llamado problema de cobertura de tríada, y considera cada tríada circular como un punto de consistencia individual (de acuerdo con los axiomas dados por Kendall en 1940 (Kendall and Smith, 1940) y kulakowski en 2018 (Kulakowski, 2018) de la siguiente manera).

**Definición 1** *El torneo generalizado (gt-graph) con  $n$  vértices es un triplete  $G = (V, E_u, E_d)$  donde  $V = a_1, \dots, a_n$  es un conjunto de vértices,  $E_u \subset 2^V$  es un conjunto de pares desordenados llamados bordes no dirigidos, y  $E_d \subset 2^V$  es un conjunto de pares ordenados llamados bordes dirigidos, de modo que por cada dos vértices distintos  $c_i$  y  $a_j$ , ya sea  $(a_i, a_j) \in E_d$  o  $(a_j, a_i) \in E_d$  o  $(a_i, a_j) \in E_u$ .  $G$  no contiene bucles, es decir, para cada  $i = 1, \dots, n$ :  $(a_i, a_i) \notin E_u \cup E_d$*

**Definición 2** *Se dice que tres vértices mutuamente distintos  $t = \{a_i, a_k, a_j\} \subseteq V$  son una tríada. Se dice que el vértice  $a$  está contenido en una tríada  $t = \{a_i, a_k, a_j\}$  si  $c \in t$ . Se dice que una tríada  $t = \{a_i, a_k, a_j\}$  está cubierta por el borde  $(p, q) \in E_d$  si  $p, q \in t$ .*

---

**Algorithm 1** Algoritmo para censo de triadas

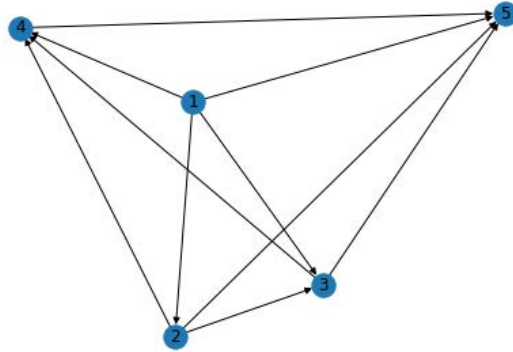
---

```

1: INPUT:  $G = (V, R) \leftarrow$  relational graph represented by lists of neighbors
2: OUTPUT: table Census with frequencies of triadic types
3: for  $i := 1, 16$  do
4:    $Census[i] := 0;$ 
5:   for all  $v \in V$  do
6:     for all  $u \in \hat{R}(v)$  do
7:       if  $v < u$  then
8:         Begin
9:          $S := \hat{R}(u) \cup \hat{R}(v) \setminus \{u, v\}$ 
10:        if  $vRu \wedge uRv$  then
11:           $TryType := 3$ 
12:        else
13:           $TryType := 2;$ 
14:           $Census[TriType] := Census[TriType] + n - |S| - 2$ 
15:        for all  $w \in S\hat{R}(v)$  do
16:          if  $u < w \vee (v < w \wedge w < u \wedge \neg v\hat{R}w)$  then
17:            Begin
18:             $TriType := TriTypes[Tricode(v, u, w)];$ 
19:             $Census[TriType] := Census[TriType] + 1;$ 

```

---



**Figura 4-2:** Nodos dirigidos para cada triada

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 1 & 5 & 6 & 7 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & 1 & 8 & 9 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & \frac{1}{8} & 1 & 1 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{7} & \frac{1}{9} & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad M' = \begin{pmatrix} - & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & - & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & - & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & - & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & - \end{pmatrix} \quad (4.13)$$

Considere una matriz cuadrada:  $M$ , con bordes dirigidos como se ve en la matriz  $M'$  de tamaño  $n = 5$  (vea la figura 4-2). Todas las triadas de esta matriz (ver matriz en la ecuación 4.13) son:  $T_i = \{(2, 3, 5), (1, 2, 3), (1, 3, 5), (1, 4, 5), (1, 2, 4), (1, 3, 4), (2, 4, 5), (3, 4, 5), (2, 3, 4), (1, 2, 5)\}$ . Evaluamos cada triada para la matriz inicial  $M$ , se considera el triplete  $T_1 = (2,3,5)$  con componentes  $(a_{2,3} = 5, a_{2,5} = 7, a_{3,5} = 9)$  tienen un alto valor de inconsistencia de  $CR = 0.4037$  expresado por la ecuación 4.14 y probado calculando la relación de consistencia para esta triada.

$$a_{ij} * a_{jk} \approx a_{ik} \quad (4.14)$$

De acuerdo con (Kulakowski, 2018) en un  $t - graph$  correspondiente a una matriz  $M$ , el número máximo posible de triadas inconsistentes en las que un gráfico está dado por:

$$I(n) = \begin{cases} \frac{n^3-n}{24} & \text{cuando } n \text{ es impar} \\ \frac{n^2-4n}{24} & \text{cuando } n \text{ es par} \end{cases} \quad (4.15)$$

En la matriz M evaluamos cada triada para recopilar todas las razones de consistencia para todos los problemas (ver tabla **4-2**), luego modificamos la triada más inconsistente para reducir la inconsistencia con el pequeño cambio sobre los juicios de valor  $a_{i,j}$ .

**Tabla 4-2:** Todas las triadas y posiciones  $a$  en  $M$

	$a_{i,j}$	$a_{i,k}$	$a_{j,k}$	<b>triad</b>	<b>CR</b>
<b>triada 1</b>	12	13	23	1,2,3	0.091
<b>triada 2</b>	12	14	24	1,2,4	0.052
<b>triada 3</b>	12	15	25	1,2,5	0.034
<b>triada 4</b>	13	14	34	1,3,4	0.315
<b>triada 5</b>	13	15	35	1,3,5	0.253
<b>triada 6</b>	14	15	45	1,4,5	0.008
<b>triada 7</b>	23	24	34	2,3,4	0.420
<b>triada 8</b>	23	25	35	2,3,5	0.404
<b>triada 9</b>	24	25	45	2,4,5	0.003
<b>triada 10</b>	34	35	45	2,4,5	0.002

Finalmente se listan todas las inconsistencias y se comienza a sugerir los cambios desde la triada más inconsistente hasta obtener consistencia en la matriz M.

#### 4.1.6. Control mediante índice de consenso

Un proceso de Consenso en problemas de toma de decisiones grupal es un proceso cuya intención es lograr acuerdo entre los involucrados, usualmente con varias rondas de discusión

#### 4.1 Desarrollo de la metodología

---

donde los expertos (o los decisores) modifican sus preferencias de acuerdo a los consejos dados por el facilitador. Este estudio muestra el nivel de acuerdo con la decisión final y con la ponderación de los criterios mediante medidas de similaridad en sus matrices de decisión individuales. De acuerdo con (Chiclana et al., 2013) la búsqueda de consenso presenta retos en las siguientes áreas: Consejería, modelos basados en la confianza, visualización y verbalización del proceso, la importancia de los expertos, contextos dinámicos de decisión y persuasión. Este trabajo se enfoca en la visualización del proceso con altos volúmenes de información. A continuación se muestran los pasos del índice de consenso propuesto por (Herrera-viedma et al., 2007) basado en la medida de similaridad para la matriz de decisión de cada participante, como se explica a continuación. Por cada par de expertos ( $ek, et$ ) ( $k = 1, \dots, m - 1, l = k + 1, \dots, m$ ) se obtiene una matriz de similaridad :

$$SM_{ij}^{kl} = (sm_{ij}^{kl}) \quad (4.16)$$

Comparando cada matriz de decisión de cada decisor con el resto de ellos como se muestra a continuación.

$$m_{ij}^{kl} = 1 - |p_{ij}^k - p_{ij}^l| \quad (4.17)$$

Donde,  $p_{ij}$  es la valoración de las alternativas  $A_j$  contra los criterios, que son, los eigenvectores para cada decisor. Es calculada una matriz de Consenso,  $cm_{ij}$ , agregando las matrices de similaridad usando la media aritmética como función de agregación.

$$cm_{ij} = \phi(sm_{ij}^{kl}, k = 1, \dots, m - 1, l = k + 1, \dots, m) \quad (4.18)$$

Donde,  $cm_{ij}$  es la matriz de similaridad para cada decisor. Una vez que la matriz es calculada, los grados de Consenso se obtienen en tres niveles diferentes.

**a. Nivel 1** – Grado de Consenso en pares de alternativas. El índice de Consenso de un experto con un grupo de expertos sobre una alternativa. bajo un criterio es

$$CE_{ij}^h = cm_{ij} \quad (4.19)$$

**b. Nivel 2** – Grado de consenso sobre las alternativas. El índice de consenso de un experto con un grupo de expertos con respecto a la alternativa

$$CA_i^h = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n CE_{ij}^h \quad (4.20)$$

**c. Nivel 3** - Índice de consenso sobre la matriz de decisión.

$$CI^h = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m CA_i^h \quad (4.21)$$

Donde  $m$ , es el número de criterios para cada matriz de decisión. Una vez se obtenga el índice de Consenso,  $CI$ , es comparado con el mínimo nivel de Consenso establecido para el problema,  $CL \in (0, 1)$ , el cual dependerá del tipo de problema abordado.  $CL$  es un valor de referencia predefinido por el moderador y puede ser diferente para cada problema. Un Índice de consenso ( $CI$ ) más alto significa un mayor nivel de Consenso para el problema.

**Tabla 4-3:** Escala - nivel de consenso

Definición	Fracción de acuerdo
Ninguno	0 – 0.17
Muy bajo	0.17 – 0.33
Bajo	0.33 – 0.5
Medio	0.5 – 0.67
Alto	0.67 – 0.83
Muy alto	0.83 – 1.0

Cuando  $CI \geq CL$ , el modelo de Consenso termina y se acepta aquella alternativa que tenga la mayor valoración para el problema sobre las decisiones agregadas de los participantes. De otra forma, se debe dar retroalimentación a los participantes y se aplica nuevamente todo



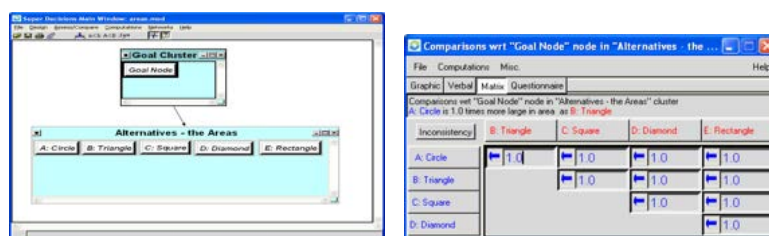
## 4.2 Paquetes de software para implementar la metodología

el proceso de cálculo de Consenso sobre las nuevas valoraciones. Con base en la revisión se proponen en la Tabla 4-3 seis tipos de Consenso para este problema. La escala anterior representa el nivel de consenso para el problema que se quiere resolver, el umbral deberá establecerlo el panel de decisores representando el nivel de acuerdo que puedan conseguir.

### 4.2. Paquetes de software para implementar la metodología

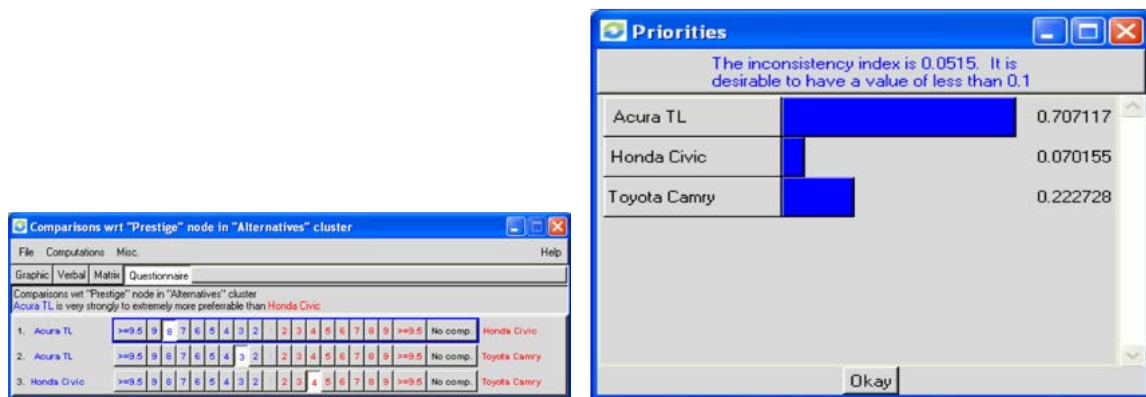
#### 4.2.1. *Super decisions*

*Super decisions* es un software de libre distribución, mediante el cual se puede modelar problemas de decisión con las técnicas AHP y ANP (primera generalización del AHP). Entre sus ventajas, esta la sencillez con la que puede modelarse una jerarquía para un problema AHP o una red para un problema ANP. Infortunadamente, el programa no es muy eficiente cuando debemos reunir juicios de muchos participantes. En la Figura 4-3 se puede observar la interfaz para crear la jerarquía del problema, creando mediante nodos cada una de las partes del problema de decisión. En la Figura 4-4 se puede observar un cuestionario que facilita el ingreso de las comparaciones, adicionalmente en la figura (b) se puede ver el escalafón final y la inconsistencia de la matriz de comparaciones.



(a) Jerarquía para un problema AHP. (b) Matrices de comparaciones por pares.

**Figura 4-3:** Interfaz de Super decisions



(a) Comparaciones por cuestionario. (b) Ranking final e inconsistencia.

Figura 4-4: Interfaz de Super decisions

## 4.2.2. Paquete *AnalyticHierarchyProcess* desarrollado para toma de decisiones en el lenguaje Julia

### El lenguaje de programación Julia

Julia es un lenguaje de programación homocónico, multiplataforma y multiparadigma de tipado dinámico de alto nivel y alto desempeño para la computación genérica, técnica y científica, con una sintaxis similar a la de otros entornos de computación similares. Para probar el paquete o el lenguaje, se sugiere utilizar la versión online <http://www.juliabox.com/>.

### El paquete *AnalyticHierarchyProcess*

El paquete *AnalyticHierarchyProcess* provee funciones para desarrollar técnicas de toma de decisiones multicriterio como VIKOR, DEMATEL, AHP, Entropía. La mayor ventaja es la capacidad de construir modelos con gran cantidad de participantes y realizar las agregaciones de juicios de manera rápida y sencilla. Tal como se describe el manual de Julia, para instalar

## 4.2 Paquetes de software para implementar la metodología

---

```
1 Pkg.clone("https://github.com/jorgeiv500/AnalyticHierarchyProcess.git")
2
```

**Figura 4-5:** Instalación del paquete

un paquete no registrado se utiliza el comando **Pkg.clone()**, de la siguiente manera:

A continuación se muestran las funciones del paquete con la matriz de comparación por pares de ejemplo eq 4.22

$$\begin{array}{c|ccc} PC & A & B & C \\ \hline A & 1 & 1/4 & 4 \\ B & 4 & 1 & 9 \\ C & 1/4 & 1/9 & 1 \end{array} \quad (4.22)$$

**Función eigenv:** La función **eigenv** calcula el auto vector dominante de la matriz de comparaciones por pares.

```
1 using AnalyticHierarchyProcess # Aqui llamamos el paquete que se instalo
2
3 PC=[1 1/4 4; # Aqui asignamos la matriz de comparaciones por pares
4 4 1 9;
5 1/4 1/9 1]
6 resultado=eigenv(PC) # Aqui calculamos el autovector
7 >>
8 0.217166
9 0.717065
10 0.0657693
```

**Figura 4-6:** Ejemplo de aplicación de la función eigenv

**Función CRA:** Esta función calcula el ratio de consistencia de la matriz, nos dice si es consistente o no.

```
1 using AnalyticHierarchyProcess # Aqui llamamos el paquete que se instalo
2
3 PC=[1 1/4 4; # Aqui asignamos la matriz de comparaciones por pares
4 4 1 9;
5 1/4 1/9 1]
6 resultado=CRA(PC) # Aqui calculamos el ratio de consistencia
7 >>
8 0.035
9
```

Figura 4-7: Ejemplo de aplicación de la función CRA

```
1 using AnalyticHierarchyProcess # Aqui llamamos el paquete que se instalo
2
3 matriz=[ 1 2 3 4;
4 5 6 7 8;
5 9 10 11 12]
6 entropia(matriz)
7 >>
8 0.402243 0.265113 0.189685 0.142959
9
```

Figura 4-8: Ejemplo de aplicación de la función entropía

**Función Entropía:** Esta función calcula el peso de los componentes de una matriz de decision de  $m \times n$ .

### 4.3. Conclusiones del capítulo 4

- *Se propuso una metodología que permite medir y analizar la importancia de los decisores y su influencia con el fin de buscar Consenso en la toma de decisiones Multicriterio grupal.*
- *La metodología se puede observar en la Figura 4-1.*

**Función VIKOR:** Esta función calcula el índice  $Q$  de los componentes de una matriz de decisión de  $m \times n$ , indicando los pesos de los criterios. A continuación se muestra un ejemplo de uso junto al método de la entropía para calcular los pesos.

```
1 using AnalyticHierarchyProcess # Aqui llamamos el paquete que se instalo
2
3 proveedores=[3400000.00 3.00    1.50
4 1800000.00 8.00    2.50
5 2500000.00 7.00    3.00
6 3900000.00 5.00    1.80
7 ]
8 minmax=[0 0 1]
9 peso=entropia(proveedores)
10 ponderacion=vikor(proveedores,peso,minmax)
11 >>
12 El vector mejor es=[0 3.0 3.0]
13 El vector peor es=[0 8.0 1.5]
14 La matriz rs es=[0.226328 -0.0 0.263725; -0.0 0.439219 0.0879084; 0.0990185
15 0.351375 0.0; 0.297055 0.175688 0.21098]
16 El vector sj=[0.490053; 0.527128; 0.450394; 0.683723]
17 El vector rj=[0.263725; 0.439219; 0.351375; 0.297055]
18 el indice qj=[0.0849857; 0.664432; 0.249724; 0.594961]
```

**Figura 4-9:** Ejemplo de aplicación de la función VIKOR

- Se propuso un índice de influencia mediante proximidad Eq (4.2) y un peso para los decisores Eq (4.3).
- Se propuso un nivel de acuerdo mediante una escala para el problema grupal.
- Se propuso como encontrar la inconsistencia en una matriz de comparaciones por pares y como asignar importancia a los decisores.
- Se propuso un paquete de software para solucionar problemas con alto volumen de información.

## Capítulo 5

# Prueba de la metodología - Casos de estudio

Este capítulo da cumplimiento al quinto objetivo específico de la tesis doctoral.

- *Aplicar la metodología en un caso de estudio colombiano en gestión ambiental.*

### 5.1. Estudio de caso - PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY

#### 5.1.1. Descripción del caso de estudio

La metodología se valida en el Parque Nacional Natural El Cocuy, a continuación se describe detalladamente el lugar y los problemas encontrados mediante el reconocimiento de la zona con trabajo de campo. La Sierra Nevada del Cocuy (ver Figura 5-1) se localiza en las cumbres de la cordillera oriental de los andes colombianos, ubicada entre los 6° 21' a 6° 33' de latitud norte, y entre los 72° 15' a 72° 19' de longitud oeste, el área se encuentra bajo la jurisdicción



**Figura 5-1:** Mapa del Parque Nacional Natural El Cocuy.

de los municipios: Guican del departamento de Boyacá y Tame en el departamento de Arauca, ésta área comprende una longitud de 35 km<sup>2</sup>. La sierra ofrece diversos servicios ambientales, entre los más representativos se destaca la formación de escenarios de sistemas lagunares y de morrenas (Ceballos et al., 2012). El trabajo de campo se realiza en las siguientes rutas: Ritacuba Blanco (5380 msnm), Cóncavo (5200 msnm), Concavito (5100 msnm), San Pablins (5200 msnm) con el fin de presentar en detalle los principales elementos y factores que afecten el sistema del páramo. Se realizan tres recorridos turísticos para observación, registrando puntos en gps de cada daño y problema encontrado. La parte que se encuentra por encima de la línea de nieve (es decir, por encima de una altitud de unos 4600 m medida en la ladera occidental) tiene una longitud de unos 33 km y alcanza una altitud extrema de unos 5490 m en el Alto Ritacuba, un pico cerca de su norte. fin. El pico más alto cerca del extremo sur es Pan de Azúcar, con una altitud de aproximadamente 5150 m. El área de la división está cubierta por una cadena casi continua de casquetes de hielo, de uno a dos kilómetros de ancho, y pequeños campos de nieve periféricos. La sierra es parte de un parque



## 5.1 Estudio de caso - PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY

nacional de 3000 km<sup>2</sup> establecido en 1970. El primer recorrido se realiza en enero del año 2015, el segundo en noviembre de 2015 y el último en enero de 2016. Cubriendo los caminos correspondientes a los picos Ritacuba blanco, Cóncavo, Concavito y Pan de Azúcar. En las Figuras 5-2 y 5-3 podemos ver los senderos recorridos a los campamentos de cada pico, estos recorridos son los únicos permitidos por los guarda parques.

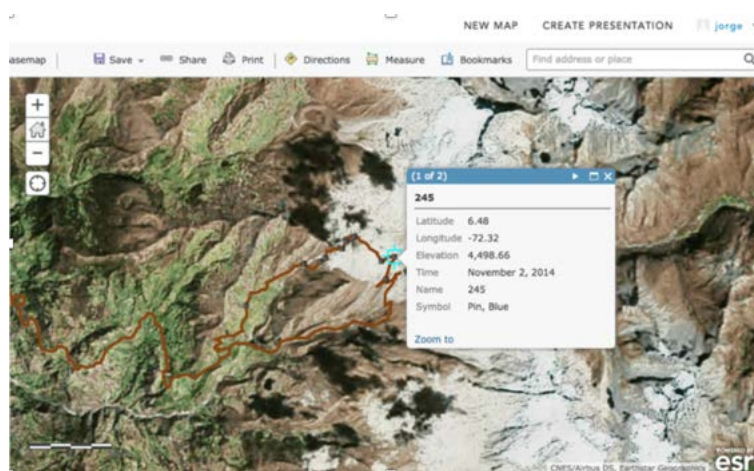


Figura 5-2: Recorrido realizado hacia pico Ritacuba blanco.



Figura 5-3: Recorrido laguna grande de la sierra.



(a) Ganadería en una ladera del camino al pico Cóncavo.

(b) Perdida de capa vegetal en el camino al pico Ritacuba blanco.

**Figura 5-4:** Problemas ambientales en el parque -1



(a) Frailejones muertos y deterioro de la capa vegetal en el sendero turístico del Cóncavo.

(b) Laguna grande de la sierra – base pico cóncavo.

**Figura 5-5:** Problemas ambientales en el parque - 2

5.1 Estudio de caso - PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY

---



(a) Camino a cumbre del pico cóncavo.



(b) Camino a la laguna de los témpanos.

**Figura 5-6:** Recorridos en el parque natural -1



(a) Laguna de los témpanos.



(b) Campamento base - Ritacuba blanco.

**Figura 5-7:** Recorridos en el parque natural -2



(a) Ritacuba blanco 3000 m altura.

(b) Cumbre Ritacuba blanco.

**Figura 5-8:** Recorridos en el parque natural -3

De acuerdo con Jácome- Enríquez y colaboradores (2012), los problemas se agrupan en tres categorías: (Jácome-Enríquez et al., 2012)

■ **Categoría 1: Ambiental**

**Perdida de la capa vegetal:** Esta es generada principalmente por los recorridos que realizan tanto los turistas como los animales (ganadería y actividad ecuestre) que deterioran la capa vegetal e impiden que sobre ella broten nuevas plantas como principal afectado se determinó que se presenta con los frailejones que se hallan muertos alrededor del camino turístico, éste es consecuencia de la falta de delimitación que presenta el parque en la actualidad.

**Ganadería sobre la sierra:** El uso del suelo por actividad bovina genera erosión y compactación del mismo.

**Utilización inapropiada del recurso hídrico sobre la sierra:** el desarrollo de agricultura demanda el uso de del recurso hídrico sobre el cual no existe ninguna reglamentación ni control lo que genera contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

### ■ Categoría 2: Económica

**Limitadas fuentes de ingreso:** Las fuentes de ingreso se resumen básicamente en agricultura y ganadería, actividades tradicionales de los páramos andinos lo cual impide que se generen nuevas fuentes de ingresos y se convierta en un obstáculo para la inversión en nuevas oportunidades de negocio a partir del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales

**Ordenamiento territorial:** En el territorio de la sierra se identificaron diversos hacendados con grandes extensiones de tierra.

### ■ Categoría 3: Social

**Tradicición:** Los diferentes campesinos y grupos indígenas reflejan la importancia de sus costumbres al querer continuar las actividades de sus ancestros.

**Representatividad:** El nombre actual que recibe el parque no representa a todas las comunidades adyacentes al sector lo cual genera constantes discusiones por los recursos (económicos, naturales, etc.) que genera el sector.

Hay varios factores de no-sostenibilidad que deben ser evaluados por los administradores del parque. Con respecto a los problemas ambientales que deben enfrentar, algunos de ellos están directamente relacionados con el sistema de producción de los agricultores locales, con la tala y quema de bosques para abrir pastos y mantener el ganado, lo que ha deteriorado la compactación del suelo y no lo hace. Permitir el desarrollo de la agricultura más. Además, la destrucción del hábitat natural y la caza indiscriminada ha disminuido la biodiversidad y se han secado muchas fuentes de agua importantes.

Con respecto a los problemas sociales, es muy común que las familias presenten un bajo nivel de consumo de alimentos, junto con una dependencia de jornales (trabajo que se paga diariamente) debido a la mano de obra familiar pobre. La aplicación de la ley es otro factor que no permite que los propietarios inviertan y trabajen en sus unidades de producción,

por temor a ser chantajeados o robados. En cuanto a la parte técnico-productiva se produce otro factor de insostenibilidad porque no hay suficiente suministro de alimentos para el ganado, recurriendo al pastoreo excesivo y la tala gradual de los bosques para la expansión de los pastos para el ganado. Muchas fincas tienen prácticas sostenibles, como el cultivo y el uso mínimo de pesticidas en la producción de cultivos alimentarios. En algunas otras fincas, tienen especies menores, estanques de peces y productos apícolas como suplemento alimenticio.

### **5.1.2. Declaración del problema de toma de decisiones.**

Dado que, los *stakeholder* presentes en el parque tiene intereses particulares, el problema de toma de decisiones radica en que se generan diferentes niveles de prioridad sobre los problemas ambientales presentes en el parque, lo que imposibilita cumplir los objetivos de conservación planteados y reduce la posibilidad de lograr consenso.

El problema de decisión será modelado con el método AHP. Para identificar los grupos de criterios y alternativas, trabajamos con el panel de partes interesadas, ya que son los que están interesados en resolver los problemas del parque. El objetivo del problema de toma de decisiones es el siguiente: establecer una priorización entre los problemas que enfrentan los administradores del parque de acuerdo con los objetivos estratégicos del parque.

#### **Alternativas**

Después de analizar todos los asuntos, el panel de partes interesadas propuso una lista con ocho problemas principales, que posteriormente se formularon como seis objetivos que deben analizarse y priorizarse como se ve a continuación :

- A1 Objetivo 1: Fragmentación sociopolítica y pérdida de conocimientos tradicionales de la comunidad Uwa.

## 5.1 Estudio de caso - PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY

---

- A2 Objetivo 2: La tala, quema y tala de vegetación para mantener los pastos y cultivos entre los bosques andinos en el sector oriental.
- A3 Objetivo 3: Infraestructura sin estudios de impacto ambiental y medidas de mitigación (depósitos, canales, puentes, carreteras).
- A4 Objetivo 4: Extenso pastoreo en el parque.
- A5 Objetivo 5: Obstrucción y secado rápido de turberas, lagos y manantiales.
- A6 Objetivo 6: Turismo mal gestionado en el parque.

### **Criterios**

Los siguientes criterios fueron elegidos para priorizar los problemas. Son los objetivos de conservación del parque natural.

- C1 Mantener la conectividad eco-sistémica de áreas forestales y áreas silvestres.
- C2 Conservar hábitat y poblaciones de especies endémicas.
- C3 Mantener el suministro de agua que alimenta las cuencas hidrográficas.
- C4 Proteger el territorio Uwa que se solapa con el Parque.
- C5 Proteger los valores escénicos destacados.

### **5.1.3. Disposición del panel de stakeholders.**

El Parque Natural debe abordar todos los problemas mencionados anteriormente vinculando al mayor número de comunidades y organizaciones (partes interesadas) para implementar programas de recuperación, impulsando el desarrollo urbano y regional sostenible. Además, deben promover procesos de participación pública para tomar decisiones de inversión con el

fin de contribuir a la sostenibilidad ambiental de cada parte interesada y buscar articular procesos de gestión participativa (programas de co-gestión en áreas protegidas) que sean más satisfactorios en términos de los resultados de la toma de decisiones. Las instituciones y organizaciones involucradas en el problema se identifican como responsables de administrar el parque o como grupos de interés *Stakeholders*. Estos son:

- **D1-Comunidad U'was:** los indígenas Uwa también llamados tunebos tienen un sistema social, político y ecológico que les permite comunicarse con grupos en otras regiones distantes. Se ubican en altas montañas, cerros y llanuras con relieves de entre 400 y 5300 m, cubriendo los departamentos de Boyacá, Arauca, Norte de Santander, Santander y Casanare. Viven aproximadamente 700 familias en un territorio de 450,000 hectáreas. Se dedican a la ganadería y los cultivos de subsistencia, en consonancia con la tradición de los agricultores. Su principal cultivo es el maíz.
- **D2 Guarda-parques:** Responsables de gestionar la conservación y protección de las áreas protegidas.
- **D3 Agricultores y propietarios de ganado:** Hay agricultores en altitudes altas y bajas cerca del área del parque. Utilizan la tierra para cultivos de supervivencia, practican la ganadería extensiva cerca de áreas de tierra baldía. También queman las tierras baldías en el verano, para preparar el terreno para el ganado.
- **D4 Turistas:** el parque natural ha sido el destino de escaladores, excursionistas y turistas en general que se sienten atraídos por la belleza única de sus paisajes. Sin embargo, esta actividad está desorganizada, porque no hay control por parte de la Unidad de Parques.
- **D5 Expertos académicos:** expertos en medio ambiente con conocimientos sobre el parque natural nacional de El Cocuy.



- **D6 Turistas internacionales:** todos los años el parque es visitado por escaladores internacionales y turistas. Su punto de vista es diferente al de los turistas nacionales.

Los juicios agregados para cada tomador de decisiones (también llamado matriz  $A$  Ver ecuación 2.15) se pueden observar en la Tabla 5-1 su agregación y normalización (también llamada matriz  $D$  Ver ecuación 2.16) se puede observar en la Tabla 5-2.

### 5.1.4. Cálculo del peso de cada decisor

#### Cálculo del índice de influencia y peso para cada actor por SNA.

Como se explica en la sección de metodología, estas dos medidas se relacionan directamente. La Influencia se propone como una medida inversa a la cercanía de sabidussi, y el peso del decisor  $W_i$  representa esta misma Influencia normalizada  $I_i$ . Inicialmente recolectamos la información de las valoraciones para cada decisor mediante la siguiente pregunta basada en la teoría de percepción social para el cambio de valoraciones propuesta en (Fishbein et al., 2001):

*”¿Qué parte del grupo de interés cree que puede estar de acuerdo con su opinión sobre la clasificación de los objetivos del Parque Nacional Cocuy?”.*

Cada tomador de decisiones da su opinión y la matriz se construye de acuerdo con la escala:

- No hay acuerdo con su opinión = 0
- Bajo nivel de acuerdo con su opinión = 1
- Nivel medio de acuerdo con su opinión = 2
- Alto nivel de acuerdo con su opinión = 3
- Muy alto nivel de acuerdo con su opinión = 4

**Tabla 5-1:** Valores de Influencia para cada Decisor

(a) D1							(b) D 2						
	D1	D2	D3	D4	D5	D6		D1	D2	D3	D4	D5	D6
D1	0	3	3	3	3	4	D1	0	2	3	3	2	4
D2	2	0	3	3	2	2	D2	2	0	3	3	3	3
D3	1	1	0	2	1	1	D3	1	2	0	2	2	0
D4	1	3	3	0	1	3	D4	2	4	1	0	2	2
D5	2	1	2	3	0	3	D5	1	2	2	1	0	3
D6	1	2	2	1	2	0	D6	2	1	2	3	2	0

(c) D 3							(d) D 4						
	D1	D2	D3	D4	D5	D6		D1	D2	D3	D4	D5	D6
D1	0	3	2	2	3	4	D1	0	2	2	3	3	3
D2	2	0	2	3	3	0	D2	1	0	3	3	3	3
D3	1	3	0	1	2	1	D3	1	2	0	0	2	2
D4	2	3	2	0	2	1	D4	1	3	2	0	2	2
D5	1	2	2	2	0	4	D5	2	2	1	2	0	3
D6	1	2	1	1	2	0	D6	2	1	2	2	2	0

(e) D 5							(f) D 6						
	D1	D2	D3	D4	D5	D6		D1	D2	D3	D4	D5	D6
D1	0	2	2	0	2	3	D1	0	2	2	3	2	4
D2	2	0	2	3	2	2	D2	2	0	2	3	3	3
D3	1	2	0	2	2	1	D3	1	2	0	2	2	1
D4	2	3	1	0	3	2	D4	2	3	2	0	0	1
D5	2	1	2	2	0	3	D5	2	2	2	3	0	2
D6	2	1	2	2	2	0	D6	1	2	2	2	1	0

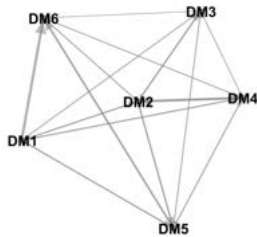
5.1 Estudio de caso - PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY

$$A = \begin{pmatrix} 0,00 & 2,33 & 2,33 & 2,33 & 2,50 & 3,67 \\ 1,83 & 0,00 & 2,50 & 3,00 & 2,67 & 2,17 \\ 1,00 & 2,00 & 0,00 & 1,50 & 1,83 & 1,00 \\ 1,67 & 3,17 & 1,83 & 0,00 & 1,67 & 1,83 \\ 1,67 & 1,67 & 1,83 & 2,17 & 0,00 & 3,00 \\ 1,50 & 1,50 & 1,83 & 1,83 & 1,83 & 0,00 \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} 0,00 & 0,18 & 0,18 & 0,18 & 0,19 & 0,28 \\ 0,14 & 0,00 & 0,19 & 0,23 & 0,20 & 0,16 \\ 0,08 & 0,15 & 0,00 & 0,11 & 0,14 & 0,08 \\ 0,13 & 0,24 & 0,14 & 0,00 & 0,13 & 0,14 \\ 0,13 & 0,13 & 0,14 & 0,16 & 0,00 & 0,23 \\ 0,11 & 0,11 & 0,14 & 0,14 & 0,14 & 0,00 \end{pmatrix}$$

**Tabla 5-2:** Agregación  $A$  y Normalización  $D$ , también llamada matriz  $D$

	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>	<b>D6</b>
<b>D1</b>	0	0.2	0.2	0.2	0.214	0.314
<b>D2</b>	0.16	0	0.214	0.257	0.229	0.186
<b>D3</b>	0.09	0.171	0	0.129	0.157	0.086
<b>D4</b>	0.14	0.271	0.157	0	0.143	0.157
<b>D5</b>	0.14	0.143	0.157	0.186	0	0.257
<b>D6</b>	0.13	0.129	0.157	0.157	0.157	0

De la Tabla 5-2 se aplicó DEMATEL y Social Network Analysis como muestra la ecuación 5.1



**Figura 5-9:** Influence Network in Gephi®

$$C_i = \begin{pmatrix} 0,38 \\ 0,75 \\ 1,50 \\ 1,43 \\ 1,36 \\ 2,00 \end{pmatrix} \quad I_i = \begin{pmatrix} 2,63 \\ 1,33 \\ 0,67 \\ 0,70 \\ 0,73 \\ 0,50 \end{pmatrix} \quad W_i = \begin{pmatrix} 0,40 \\ 0,20 \\ 0,10 \\ 0,11 \\ 0,11 \\ 0,08 \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

Una vez que se obtiene la matriz  $D$  (ver Matriz. 5.1.4), se obtiene una red de Influencia mediante el software Gephi <sup>®</sup> como se ve en la Figura. **5-9**. Esta red de Influencia muestra las conexiones entre todos los interesados con el resto de ellos. Una línea gruesa muestra una mayor Influencia entre dos partes interesadas, la ruta roja muestra una conexión fuerte entre las partes interesadas y el resto de ellas, por otra parte, la ruta azul muestra una conexión débil entre las partes interesadas, lo que significa una Influencia débil entre ellas.

Para el análisis **SNA** tomamos la matriz  $D$  y representamos la fuerza de todas las relaciones de Influencia en un gráfico (con el software gephi) como podemos ver en la figura **5-9**. Su importancia se calcula mediante la centralidad / medida de proximidad de Sabidussi (Sabidussi, 1966). Una vez que tenemos la centralidad de Sabidussi  $C_i$  aplicamos la ecuación 4.2 y 4.3 para calcular el peso (importancia) para cada tomador de decisiones (ver eq 5.1 ).

Estos índices de Centralidad (eq5.1) nos permiten saber qué partes interesadas son más influyentes con respecto a los demás. Muestran que hay una parte interesada, D1 (comunidad Uwa), a quien el resto de ellos considera más influyente al tratar de resolver los problemas de administración del parque. El siguiente en importancia son los D2 (Guarda parques) y D4 (Académicos). En el otro extremo, tenemos D3 (agricultores) que muestran la menor Influencia en el grupo. Estos índices de Influencia individual se utilizarán para ponderar a los interesados al agregar sus prioridades.

### **Cálculo del índice de influencia y peso para cada actor por DEMATEL.**

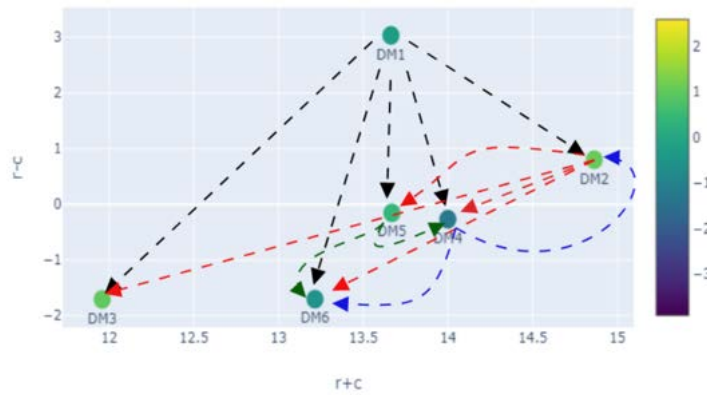
Luego, aplicamos **DEMATEL** también comenzando desde la matriz  $D$ , luego usando eq 2.16 se obtuvo la matriz de relaciones directas, luego también obtenemos la matriz de relación total  $T$  de eq 2.18 (ver Tabla **5-3**)

$$T = \begin{pmatrix} 0,44 & 0,73 & 0,72 & 0,74 & 0,73 & 0,85 \\ 0,53 & 0,55 & 0,69 & 0,74 & 0,71 & 0,72 \\ 0,34 & 0,49 & 0,35 & 0,46 & 0,47 & 0,45 \\ 0,47 & 0,68 & 0,59 & 0,49 & 0,58 & 0,63 \\ 0,47 & 0,58 & 0,58 & 0,62 & 0,46 & 0,69 \\ 0,40 & 0,50 & 0,51 & 0,53 & 0,51 & 0,42 \end{pmatrix} \quad (5.2)$$

**Tabla 5-3:** Matriz de relación total, valores de  $T$ ,  $r$  y  $c$

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	$r$
D1	0.439451	0.731664	0.717209	0.741951	0.733089	0.846074	<b>4.209</b>
D2	0.533578	0.549456	0.690697	0.742677	0.70559	0.720201	<b>3.942</b>
D3	0.339858	0.48739	0.345787	0.464839	0.472036	0.449336	<b>2.559</b>
D4	0.473047	0.676942	0.588607	0.488866	0.584842	0.6284	<b>3.441</b>
D5	0.466728	0.582645	0.57874	0.617774	0.461313	0.688785	<b>3.396</b>
D6	0.402952	0.503124	0.510324	0.527189	0.514534	0.424408	<b>2.883</b>
$c$	<b>2.656</b>	<b>3.531</b>	<b>3.431</b>	<b>3.583</b>	<b>3.471</b>	<b>3.757</b>	

Para identificar las relaciones relevantes entre los tomadores de decisiones, damos un valor umbral  $\beta = 0,6$  (0.1 sobre la media aritmética de cada  $b_{ij}$  dado en la matriz  $T$ ). En la Tabla**5-3** podemos ver todas las relaciones importantes entre los tomadores de decisiones (en verde) y representarlas en el gráfico de relaciones DEMATEL (ver Fig.**5-10**).



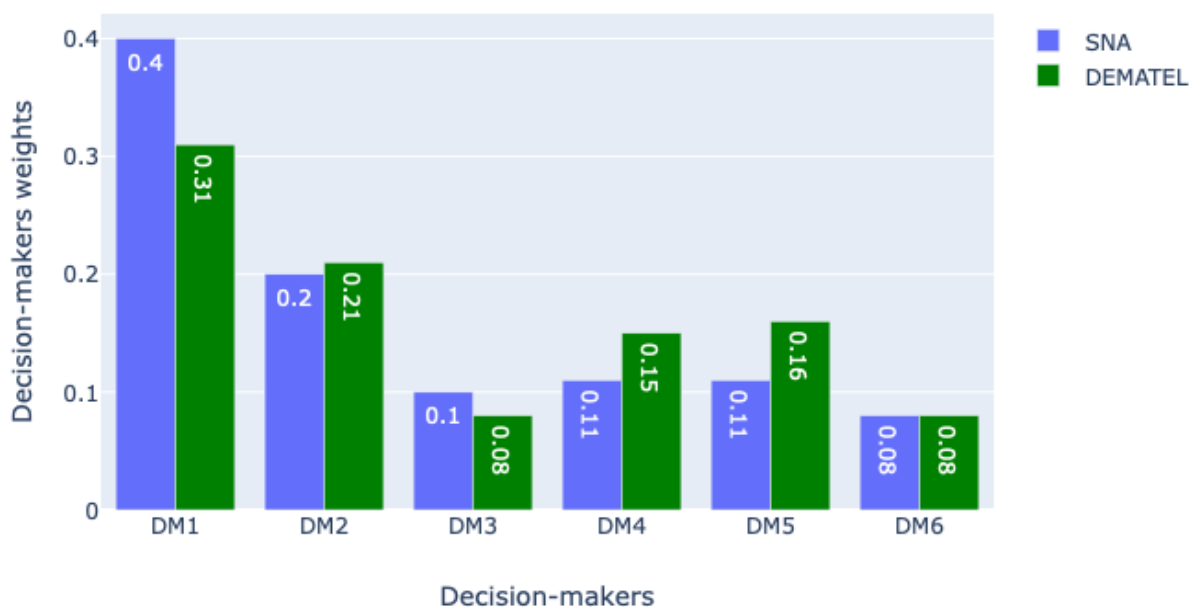
**Figura 5-10:** Importancia  $r + c = t_i^+$  e Influencia  $r - c = t_i^-$  en DEMATEL con relaciones de la matriz  $X$

La clasificación final para la importancia e Influencia de DEMATEL puede observarse en la Tabla 5-4b de la siguiente manera:

**Tabla 5-4:** Valores de Influencia y pesos finales para cada decisor

(a) Pesos finales de cada decisor				(b) Influencia $r - c$ e Importancia $r + c$					
	Sabudussi		Dematel						
	SNA	$W_i$	propuesto	$W_i$	$r$	$c$	$r+c$	$r-c$	
<b>D1</b>		0.40		0.31	<b>D1</b>	4.21	2.66	6.87	1.55
<b>D2</b>		0.20		0.21	<b>D2</b>	3.94	3.53	7.47	0.41
<b>D3</b>		0.10		0.08	<b>D3</b>	2.56	3.43	5.99	-0.87
<b>D4</b>		0.11		0.15	<b>D4</b>	3.44	3.58	7.02	-0.14
<b>D5</b>		0.11		0.16	<b>D5</b>	3.40	3.47	6.87	-0.08
<b>D6</b>		0.08		0.08	<b>D6</b>	2.88	3.76	6.64	-0.87

Los pesos finales para DEMATEL y SNA pueden compararse en la Tabla 5-4a y en la figura

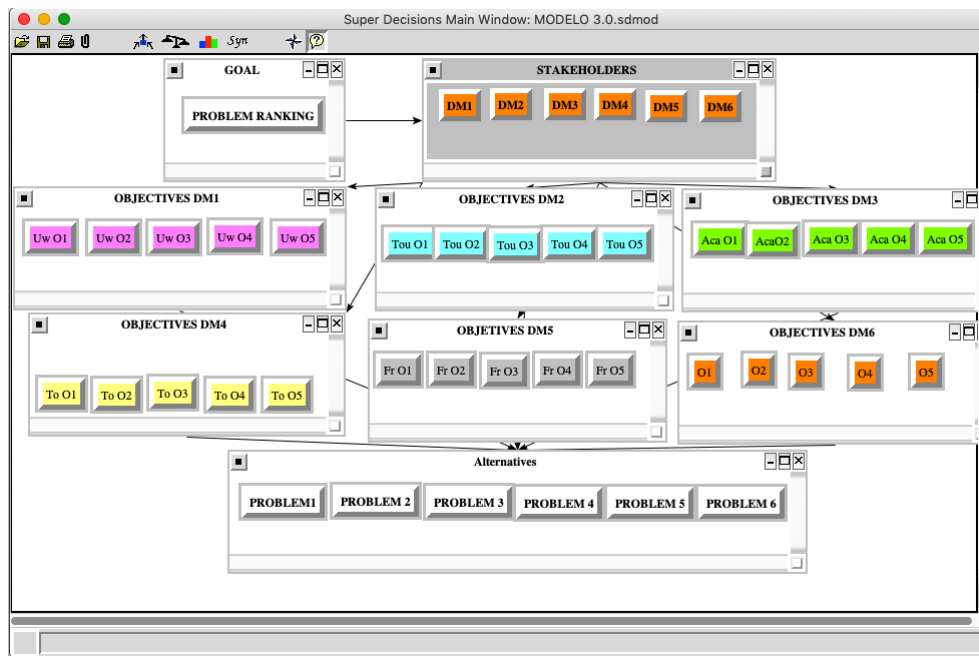


**Figura 5-11:** Pesos finales de los tomadores de decisiones

**5-11.** Se evidencia compatibilidad de peso entre el enfoque propuesto SNA y DEMATEL. En la siguiente sección utilizaremos estos pesos para resolver el problema.

### 5.1.5. Cálculo de las priorizaciones individuales por AHP.

En este paso, mostramos el cálculo de la priorización individual utilizando AHP en la Figura 5-12 podemos ver la estructura del modelo presentado.



**Figura 5-12:** Estructura jerárquica del problema con seis tomadores de decisiones: software Superdecisiones ®

Después de haber obtenido la priorización individual, se usó el subconjunto para asignar diferentes ponderaciones a los tomadores de decisiones. De esa forma se calculó la priorización final de los problemas del parque para todo el grupo de tomadores de decisiones con el AHP ponderado. La comparación por pares entre los objetivos para cada tomador de decisiones nos da la matriz  $C_r$ , donde cada columna es un vector propio que representa la importancia de cada objetivo para cada tomador de decisiones.



5.1 Estudio de caso - PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY

**Tabla 5-5:** Matriz CR - Priorización final de los objetivos con AHP para cada stakeholder

Objetivos	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	Uwas	Turistas	Academicos	Tur- int	Agricultores	Guarda Parques
<b>A1 Objetivo 1</b>	0,0557	0,0758	0,0753	0,1032	0,1109	0,2153
<b>A2 Objetivo 2</b>	0,5357	0,4813	0,0889	0,1032	0,3567	0,2521
<b>A3 Objetivo 3</b>	0,2589	0,1929	0,6603	0,3618	0,4144	0,2521
<b>A4 Objetivo 4</b>	0,1253	0,0419	0,0337	0,0699	0,0440	0,0467
<b>A5 Objetivo 5</b>	0,0235	0,2081	0,1418	0,3618	0,0740	0,2337

A continuación se muestran los valores de inconsistencia para cada decisor Tabla **5-5**.

Inconsistencia  $E^1=[0,48545 \quad 0,11777 \quad 0,08988 \quad 0,09678 \quad 0,08234 \quad 0,01748]$ .

Las matrices de decisión  $E_{ij}^k$  muestran los valores dados a cada problema ambiental (alternativas en filas) contra cada objetivo de conservación (criterios en columnas). Cada columna de las matrices  $E_{ij}^k$  es un resultado de vector propio del análisis por pares entre cada problema ambiental.

$$E^1 = \begin{pmatrix} 0,0181 & 0,3546 & 0,0212 & 0,5145 & 0,0214 \\ 0,1106 & 0,0708 & 0,1109 & 0,0277 & 0,1518 \\ 0,2803 & 0,1771 & 0,3800 & 0,0333 & 0,4514 \\ 0,0829 & 0,0245 & 0,1068 & 0,0499 & 0,0696 \\ 0,1544 & 0,3254 & 0,2903 & 0,2470 & 0,2680 \\ 0,3538 & 0,0476 & 0,0908 & 0,1275 & 0,0379 \end{pmatrix} \quad (5.3)$$

A continuación se muestran los valores de inconsistencia para la matriz  $E^1$  (5.3).

Inconsistencia  $E^1=[0,48545 \quad 0,3364 \quad 0,74722 \quad 0,18259 \quad 0,44023]$

$$E^2 = \begin{pmatrix} 0,0546 & 0,0268 & 0,0263 & 0,2703 & 0,0268 \\ 0,2227 & 0,1874 & 0,0481 & 0,0310 & 0,1874 \\ 0,1086 & 0,2042 & 0,3407 & 0,2703 & 0,2042 \\ 0,0752 & 0,0969 & 0,1010 & 0,1088 & 0,0969 \\ 0,0636 & 0,0528 & 0,3755 & 0,0725 & 0,0528 \\ 0,4753 & 0,4319 & 0,1083 & 0,2471 & 0,4319 \end{pmatrix} \quad (5.4)$$

A continuación se muestran los valores de inconsistencia para la matriz  $E^2$  (5.4).

Inconsistencia  $E^2 = [0,04291 \quad 0,04115 \quad 0,03547 \quad 0,04263 \quad 0,04115]$

$$E^3 = \begin{pmatrix} 0,0232 & 0,0302 & 0,0257 & 0,4134 & 0,0260 \\ 0,3239 & 0,2426 & 0,1225 & 0,1283 & 0,2039 \\ 0,0996 & 0,1668 & 0,1083 & 0,1996 & 0,2260 \\ 0,3546 & 0,2426 & 0,1727 & 0,1160 & 0,2260 \\ 0,1415 & 0,2426 & 0,5143 & 0,1160 & 0,2480 \\ 0,0572 & 0,0752 & 0,0564 & 0,0267 & 0,0701 \end{pmatrix} \quad (5.5)$$

A continuación se muestran los valores de inconsistencia para la matriz  $E^3$  (5.5).

Inconsistencia  $E^3 = [0,07545 \quad 0,05702 \quad 0,08991 \quad 0,07680 \quad 0,05702]$

$$E^4 = \begin{pmatrix} 0,0237 & 0,0245 & 0,0257 & 0,1514 & 0,0312 \\ 0,1616 & 0,2402 & 0,2039 & 0,1893 & 0,1686 \\ 0,0509 & 0,0449 & 0,0675 & 0,0363 & 0,0777 \\ 0,1570 & 0,1486 & 0,1640 & 0,0992 & 0,2554 \\ 0,5351 & 0,4486 & 0,4954 & 0,4744 & 0,4097 \\ 0,0718 & 0,0955 & 0,0435 & 0,0494 & 0,0574 \end{pmatrix} \quad (5.6)$$

A continuación se muestran los valores de inconsistencia para la matriz  $E^4$  (5.6).

Inconsistencia  $E^4 = [0,0908 \quad 0,07878 \quad 0,09986 \quad 0,09656 \quad 0,0906]$

$$E^5 = \begin{pmatrix} 0,0371 & 0,0375 & 0,0236 & 0,3833 & 0,0304 \\ 0,3829 & 0,1461 & 0,1179 & 0,1673 & 0,1435 \\ 0,1659 & 0,2774 & 0,1839 & 0,0645 & 0,1535 \\ 0,0843 & 0,1348 & 0,0723 & 0,1309 & 0,1535 \\ 0,2419 & 0,2581 & 0,5396 & 0,2089 & 0,3657 \\ 0,0879 & 0,1461 & 0,0626 & 0,0450 & 0,1535 \end{pmatrix} \quad (5.7)$$

A continuación se muestran los valores de inconsistencia para la matriz  $E^5$  (??).

Inconsistencia  $E^5 = [0,07822 \quad 0,09692 \quad 0,09763 \quad 0,04732 \quad 0,01858]$

$$E^6 = \begin{pmatrix} 0,0475 & 0,0255 & 0,0299 & 0,2366 & 0,0235 \\ 0,2267 & 0,1552 & 0,1318 & 0,1844 & 0,1832 \\ 0,0915 & 0,1133 & 0,0940 & 0,0900 & 0,0724 \\ 0,0929 & 0,2450 & 0,1306 & 0,0710 & 0,1724 \\ 0,4984 & 0,3976 & 0,5699 & 0,3838 & 0,4813 \\ 0,0429 & 0,0634 & 0,0438 & 0,0342 & 0,0689 \end{pmatrix} \quad (5.8)$$

A continuación se muestran los valores de inconsistencia para la matriz  $E^6$  (5.8).

Inconsistencia  $E^6 = [0,09399 \quad 0,09658 \quad 0,06591 \quad 0,10284 \quad 0,07374]$ .

En la Fig. **5-13** se puede ver una representación gráfica para la priorización de todos los problemas ambientales dados por cada tomador de decisiones.



**Figura 5-13:** Clasificación de problemas por tomador de decisiones

### 5.1.6. Control mediante índice de consenso

Finalmente, se calcula el índice de consenso para el problema y se muestra la clasificación de consenso final para los problemas ambientales del parque natural nacional. El consenso entre todas las partes interesadas se calcula en los tres niveles expuestos en la metodología como sigue:

#### a. Primer nivel de consenso

En este nivel se calcula el índice de consenso de una parte interesada para el grupo de partes interesadas sobre la alternativa  $A_i$  (problemas ambientales) bajo criterio  $C_j$  (objetivos de conservación). El grado de consenso sobre un par de alternativas  $CE_{ij}^h$  se puede ver a





## 5.1 Estudio de caso - PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY

ambientales). El grado de consenso sobre las alternativas

$$CA_i^h$$

, donde  $h$  es cada tomador de decisiones, se puede ver a continuación.

$$CA = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Consenso sobre alternativas } A \\ \hline A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \\ A5 \\ A6 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0,88406 & 0,96886 & 0,95486 & 0,95394 & 0,95348 & 0,9389 \\ 0,90868 & 0,94816 & 0,92410 & 0,92598 & 0,92936 & 0,92118 \\ 0,82636 & 0,92102 & 0,89012 & 0,87380 & 0,89808 & 0,87252 \\ 0,91496 & 0,93264 & 0,93622 & 0,93484 & 0,89068 & 0,92730 \\ 0,84108 & 0,80428 & 0,86228 & 0,76242 & 0,85302 & 0,79502 \\ 0,87632 & 0,92534 & 0,90290 & 0,74146 & 0,91042 & 0,91164 \end{pmatrix} & \end{matrix} \quad (5.15)$$

$\begin{matrix} D 1 & D 2 & D 3 & D 4 & D 5 & D 6 \end{matrix}$

### c. Tercer nivel de consenso

Según (Wu et al., 2015), cuanto mayor sea el valor de CI ( $0 \leq CI \leq 1$ ), mayor será el acuerdo entre un experto individual ( $E^h$ ) y el grupo como colectivo. Cuando  $\min_h CI^h$  es mayor que un valor umbral  $\gamma \in [0.5, 1]$ , fijado a priori por el grupo de expertos, entonces el proceso de alcanzar el consenso finaliza y el proceso de selección se aplica para lograr la solución del consenso. El nivel final muestra el índice de consenso en la matriz de decisión, este consenso muestra el nivel de acuerdo entre las partes interesadas. Le damos un valor umbral CL de 0,83 para este problema buscando un consenso muy alto, como mostramos en la escala basada en (Mata et al., 2009) en la sección de metodología. Esto significa que si tenemos un valor mayor que CL asumimos que se alcanza el consenso para el problema; de lo contrario, debemos dar retroalimentación a los tomadores de decisiones y se aplica una nueva ronda de consenso. El índice de consenso para cada parte interesada se puede ver a

continuación.

$$CI = \{ \begin{matrix} D1 & D2 & D3 & D4 & D5 & D6 \\ 0,8752 & 0,9167 & 0,9117 & 0,8654 & 0,9058 & 0,8944 \end{matrix} \} \quad (5.16)$$

Podemos observar que todas las partes interesadas tienen un nivel de Consenso **muy alto** ( $CI \geq 0,83$ ) mayor que nuestro valor umbral de **0,83**. Significa que cada parte interesada puede estar de acuerdo con la priorización final dada por el proceso ponderado de AHP. Luego, suponemos que se alcanza el consenso para este problema y sugerimos la priorización final dada por el proceso ponderado de AHP.

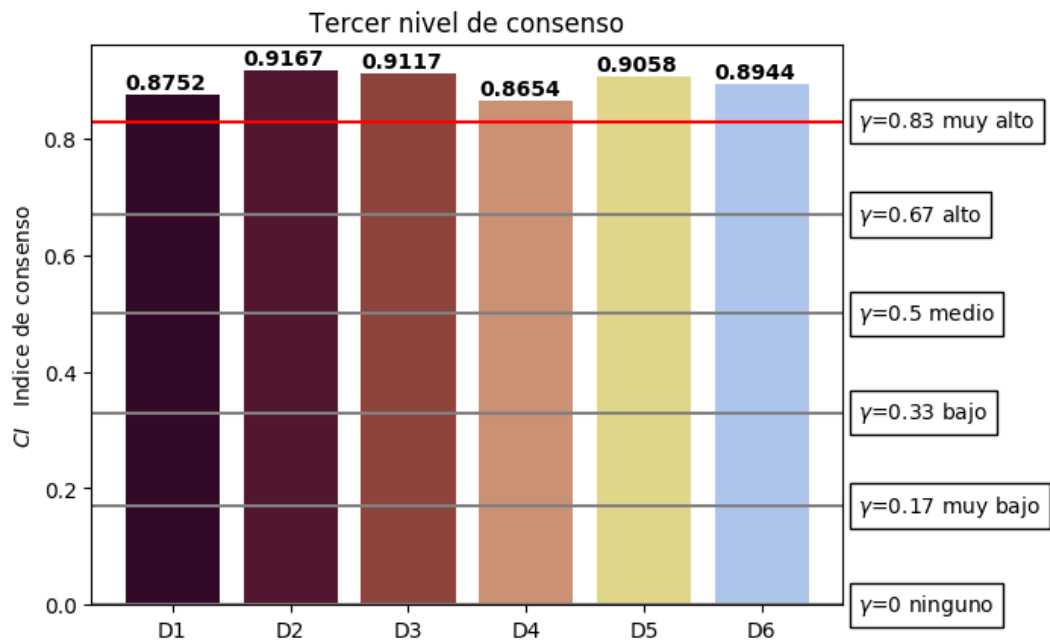


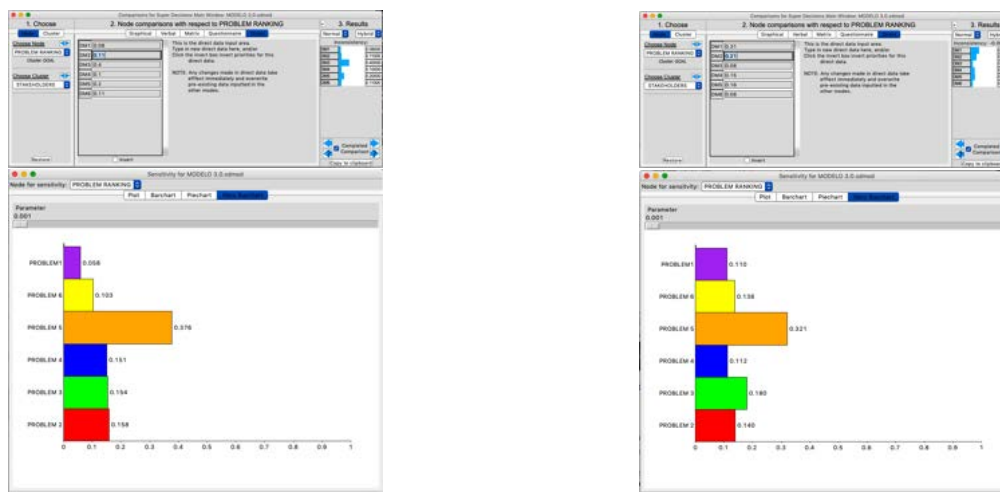
Figura 5-14: Recorrido laguna grande de la sierra.



### 5.1.7. Decisión final

Finalmente, se resolvió el problema usando AHP a través de superdecisions software <sup>1</sup>. La Tabla 5-4a muestra la compatibilidad de peso entre el enfoque SNA propuesto y el enfoque DEMATEL. Los pesos obtenidos utilizando el enfoque DEMATEL propuesto se han comparado con los obtenidos con el análisis de redes sociales mediante la medida de proximidad propuesta basada en cercanía de sabidussi.

Ahora, reemplazamos los pesos con la media aritmética de dos enfoques propuestos y obtenemos como resultado:  $Aw_i = \{0,36 \quad 0,20 \quad 0,09 \quad 0,13 \quad 0,14 \quad 0,08\}$  y clasificación de solución alternativa para el problema:  $S_i = \{0,14 \quad 0,18 \quad 0,11 \quad 0,32 \quad 0,14 \quad 0,12\}$ . Como se puede ver en la Figura 5-16 la **Alternativa 5** más importante en este ejemplo numérico, y hay un acuerdo de todos los tomadores de decisiones sobre la solución, llegando a un consenso sobre el escalafon final.



(a) Resultados del modelo AHP usando SNA pro- (b) Resultados del modelo AHP usando DEMA-  
 puesto TEL propuesto

**Figura 5-15:** Resultados del modelo AHP con modelos propuestos usando Superdecisions

<sup>1</sup><https://www.superdecisions.com>

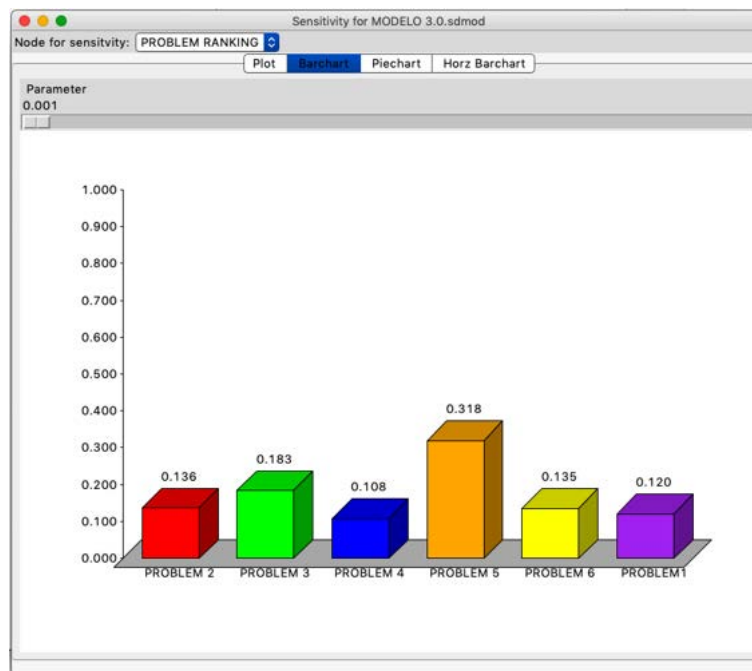


Figura 5-16: Ranking final con Superdecisiones

## 5.2. Estudio de caso - SELECCIÓN DE LOCACIÓN PARA ECO TURISMO EN EL AMAZONAS

### 5.2.1. Declaración del problema de toma de decisiones.

El objetivo principal de esta aplicación es la priorización de alternativas para brindar apoyo y mejorar la selección de un nuevo lugar para el ecoturismo en la Amazonía colombiana.

#### Alternativas

Se establecieron los posibles destinos para el ecoturismo en la Amazonía:

- Alternativa - Ubicación 1.

## 5.2 Estudio de caso - SELECCIÓN DE LOCACIÓN PARA ECO TURISMO EN EL AMAZONAS

---

- Alternativa - Ubicación 2.
- Alternativa - Ubicación 3.
- Alternativa - Ubicación 4.
- Alternativa - Ubicación 5.

### **Criterios**

Los criterios de turismo sostenible según la Organización Mundial del Turismo (UNWTO) se definieron como:

- Alivio de la pobreza: este criterio se refiere al crecimiento económico y el empleo decente que el ecoturismo puede generar en la región.
- Dispersión de viajes: el turismo globalmente afecta el enfoque en los mismos puntos. Este criterio se refiere a la Influencia del ecoturismo en este lugar que puede dispersar a los turistas de los destinos más específicos.
- Emisiones de carbono: este criterio se refiere a la importancia de mitigar la huella de carbono generada por el turismo en la región, dado que el turismo es un contribuyente importante a las emisiones globales de gases de efecto invernadero.
- Uso eficiente de los recursos: este criterio se refiere al impacto del uso de materiales renovables y energía en el destino, principalmente por parte de los operadores de servicios complementarios, como alimentos y alojamiento.
- Áreas protegidas: Este criterio se refiere a la relevancia de promover la planificación turística en áreas protegidas de la región y el cumplimiento de los planes para el cuidado de áreas protegidas.

- Igualdad de género: este criterio se refiere a la importancia de promover el empleo y aumentar los puestos administrativos para las mujeres en el sector turístico de la región.
- Seguridad: este criterio se refiere al cuidado de los turistas contra el riesgo de morir o sufrir lesiones por ataques terroristas.

### **5.2.2. Disposición del panel de stakeholders.**

Aplicamos una encuesta individual para recopilar los juicios de un grupo conformado por 67 decisores que incluyen: operadores de recorridos tradicionales, un experto en proyectos de conservación, entre otros.

### **5.2.3. Calculo del peso de cada decisor**

En este caso de estudio se utiliza el mismo peso para todos los decisores, dando un enfoque dirigido a tratar problemas con alto volumen de información.

#### **Gestión de datos**

El primer paso es leer y ordenar todos los datos del formulario usando dos paquetes del lenguaje de programación JULIA `ExcelReaders` y `DataFrames`. Dos matrices almacenan los juicios de valor de los tomadores de decisiones para los criterios (vea la matriz 5.17 como un ejemplo de juicios sobre los criterios para un tomador de decisiones) y alternativas (con una escala de 1 a n tomada del conteo Borda), respectivamente. Usando el paquete `Taro`, estas matrices se crean en 67 libros de Excel ordenados por el tomador de decisiones para aplicar individualmente el AHP y llevar a cabo la mejora de consistencia posterior y,

## 5.2 Estudio de caso - SELECCIÓN DE LOCACIÓN PARA ECO TURISMO EN EL AMAZONAS

---

finalmente, el análisis de consenso.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{3} & 3 & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} \\ \frac{1}{5} & 3 & 1 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} \\ 1 & \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{7} & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 3 & 7 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 3 & \frac{1}{5} & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 7 & 7 & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix} \quad (5.17)$$

Criteria Matrix CR

7x4 DataFrames.DataFrame				
Row	x1	x2	x3	x4
1	0.161204	0.109793	0.11734	0.177333
2	0.0501124	0.127188	0.0337937	0.0263998
3	0.0305731	0.0762694	0.142714	0.126728
4	0.256981	0.157862	0.0810574	0.221245
5	0.0878852	0.193993	0.341466	0.206146
6	0.283816	0.239022	0.131108	0.144975
7	0.129429	0.0958734	0.152522	0.0971726

1. Matrix Alternatives(i,j) for decision maker 1 is

5x7 DataFrames.DataFrame							
Row	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

5x4 DataFrames.DataFrame

Row	x1	x2	x3	x4
1	1.0	0.237739	0.326575	0.328053
2	0.0	0.262363	0.19524	0.232667
3	0.0	0.220018	0.202419	0.180929
4	0.0	0.174627	0.200089	0.184643
5	0.0	0.105253	0.0756783	0.0737066

(a) Datos recopilados del primer tomador de decisiones

(b) 4 primeros escalafones finales de los primeros decisores

**Figura 5-17:** Ejemplo de datos recopilados del formato de encuesta HTML.

### 5.2.4. Cálculo de las priorizaciones individuales por AHP y control de consenso

#### Búsqueda de inconsistencia en el problema como asesoramiento en el cambio de preferencias

A continuación, los 67 libros de Excel se toman como entrada para las matrices de criterios  $n = 7$  y la clasificación de las alternativas. Un ejemplo impreso para las matrices y la clasificación final para cada DM se puede ver en la Figura **5-17** de la siguiente manera. Usando el paquete PYTHON `networkx` e `itertools` obtenemos 35 triadas  $T_i = \{ (3, 4, 6), (1, 4, 7), (2, 3, 5), (3, 4, 7), (2, 3, 6), (1, 4, 5), (2, 3, 7), (1, 4, 6), (2, 6, 7), (5, 6, 7), (2, 4, 5), (3, 6, 7), (2, 4, 7), (2, 4, 6), (1, 2, 3), (1, 6, 7), (1, 2, 4), (2, 5, 6), (4, 5, 6), (1, 2, 5), (2, 5, 7), (1, 3, 7), (4, 5, 7), (1, 2, 6), (1, 5, 7), (1, 3, 6), (1, 2, 7), (3, 5, 7), (1, 5, 6), (1, 3, 5), (3, 5, 6), (1, 3, 4), (3, 4, 5), (2, 3, 4), (4, 6, 7) \}$  y usando el paquete `AnalyticHierarchyProcess` obtiene el CR para cada triada y ordenación como se puede ver en las Tablas **5-1a**, **5-6b** y **5-6c**. Como podemos ver en la Tabla **5-6**, 26 de las 35 triadas son inconsistentes (más del 5% de CR), las triadas se ordenan de mayor a menor inconsistencia y se realizan cambios en las valoraciones con el tomador de decisiones en orden para hacer los mínimos cambios posibles para reducir la inconsistencia. Con el fin de reducir la inconsistencia, se aplicó el procedimiento para reducir la inconsistencia en AHP propuesto en la sección 4.5 sobre matriz en la ecuación. 5.17. Primero hacemos una búsqueda heurística simple para cambiar los valores en las triadas más inconsistentes (3,4,6) (1,4,7) y (2,3,5). Estas tres triadas tenían los valores iniciales de CR de 3.6, 2.8 y 1.7 y corresponden a valores sobre las posiciones  $a_{2,4}$ ,  $a_{4,6}$  y  $a_{4,7}$ .

En la figura **5-18** puede ver las triadas inconsistentes en amarillo y las triadas más inconsistentes en azul, y luego cambiar los valores con una búsqueda local heurística sobre la Escala Saaty (Saaty and Peniwati, 2013) de  $CR = 0.446589104$  a  $CR = 0.105787724$  que es

5.2 Estudio de caso - SELECCIÓN DE LOCACIÓN PARA ECO  
TURISMO EN EL AMAZONAS

---

**Tabla 5-6:** Inconsistencia total en todas las triadas para la matriz A sobre un tomador de decisiones

(a) Triadas más inconsistentes 1		(b) Triadas más inconsistentes 2		(c) Triadas consistentes $CR \leq 5\%$	
Triada	CR	Triada	CR	Triada	CR
(4, 5, 6)	3.650063352	(1, 4, 7)	0.28892718	(2, 3, 5)	0.037225655
(2, 4, 7)	2.881131112	(1, 4, 6)	0.28892718	(5, 6, 7)	0.028076163
(2, 4, 6)	1.784091496	(1, 5, 6)	0.28892718	(1, 3, 6)	0.028009278
(4, 5, 7)	1.630698487	(1, 3, 4)	0.28892718	(1, 3, 5)	0.028009278
(3, 4, 7)	1.609648247	(2, 3, 7)	0.13489212	(2, 5, 7)	0.012123586
(1, 2, 4)	1.152423545	(4, 6, 7)	0.13359133	(1, 3, 7)	0.012123586
(3, 4, 6)	0.868744836	(2, 3, 6)	0.13196891	(1, 2, 5)	0.012123586
(2, 3, 4)	0.546074941	(1, 6, 7)	0.13093359	(1, 5, 7)	0
(2, 5, 6)	0.527387488	(3, 4, 5)	0.07844866	(1, 2, 7)	0
(1, 4, 5)	0.436331998	(1, 2, 6)	0.07783556		
(2, 6, 7)	0.433452908	(3, 5, 7)	0.07783556		
(3, 6, 7)	0.433452908	(2, 4, 5)	0.06328718		
(3, 5, 6)	0.293948309	(1, 2, 3)	0.06328718		

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{3} & 3 & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} \\ 1 & \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{7} & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 3 & 7 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 3 & \frac{1}{5} & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 7 & 7 & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix} \quad \longrightarrow \quad A = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} \\ 1 & 2 & 1 & 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} \\ 1 & 5 & 3 & 7 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 3 & 7 & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 7 & 7 & 7 & 1 & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 5-18: Reducción de inconsistencia

consistente con una matriz de comparaciones pareadas de tamaño  $n = 7$ .

### 5.3. Decisión final

En este caso se ha utilizado un modelo híbrido de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM) combinado con consenso suave, análisis de redes sociales-DEMATEL, problema de cobertura de triadas y AHP para resolver un problema de consenso en toma de decisiones ambientales.

El problema de cobertura de triadas se puede resolver de una manera sencilla cambiando menos juicios de valor para reducir la inconsistencia de la técnica AHP.



## 5.4 Conclusiones del capítulo 5

---

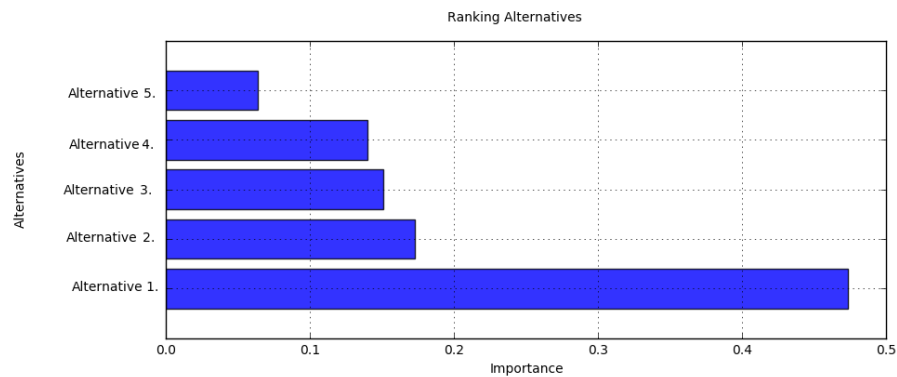


Figura 5-19: Escalafon final de las alternativas

## 5.4. Conclusiones del capítulo 5

- Se aplicó la metodología en dos casos de estudio en decisiones ambientales.
- Se aplicaron las herramientas de calculo de Influencia y peso de manera eficiente en un caso de estudio con 6 decisores y otro con 67 decisores.
- El paquete desarrollado permitió dar tratamiento y solucionar un problema de decisiones con gran volumen de información.



# Capítulo 6

## Conclusiones y recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

El manejo eficiente de un problema de decisiones grupal exige el desarrollo de metodologías sencillas y herramientas robustas que permitan asesorar y acompañar a los participantes en el cambio de sus prioridades con la intención de lograr una decisión consensuada. En el caso de las decisiones grupales en gestión ambiental, estas presentan a menudo muchas partes interesadas con situaciones complejas, cuyas implicaciones se dan a gran escala y afectan el medio ambiente de manera local y/o global.

El estado del arte, permite, inicialmente tener una aproximación a la toma de decisiones multicriterio con uno o mas participantes, diferenciar entre decisiones grupales y jerárquicas, indica como tratar de manera adecuada la información cualitativa y cuantitativa de las matrices de decisión, las deficiencias de los sistemas de votación tradicional y finalmente una revisión sistemática de la literatura en decisiones multicriterio, influencia y consenso en toma de decisiones grupales.

La metodología desarrollada comienza de manera general con el mismo despliegue que cualquier otro modelo multicriterio. Esto es, mediante la declaración del problema, donde se

plantean las alternativas y criterios de comparación. Posteriormente, se conforma el panel de participantes y se reúne sus preferencias para calcular la influencia e importancia que tienen sobre los demás participantes. Se destaca en este momento:

- La propuesta de cálculo de influencia con la propuesta de una medida de centralidad (centralidad de sabidussi) inversa (eq. 4.2) y su normalización para calcular el peso del decisor (eq. 4.3).
- La propuesta de cálculo de influencia y peso basada en DEMATEL, donde se propone un calculo de peso basado en la medida de influencia  $t_i^-$  de los decisores implícita en DEMATEL (eq. 4.8).

Con estas dos propuestas descritas en la sección de Metodología, se contribuye al vacío del conocimiento expuesto previamente en la sección 3.1: **ajustar los pesos relativos de expertos** expresado por (Fu et al., 2014) e **importancia de los expertos** expresado por (Cabrerizo et al., 2013). Adicionalmente, las dos propuestas aportan al vacío **visualización y verbalización** mediante los grafos de influencia propios. La pregunta para recolectar el nivel de influencia de los participantes contribuye también al vacío en **persuasión (Influencia social)** (según (Fishbein, 1975) las personas a menudo pueden realizar un comportamiento porque creen que otros piensan que deberán realizar ese comportamiento, aunque el otro participante nunca sepa si lo han hecho o no). La siguiente etapa de la metodología plantea el calculo de las prioridades individuales por AHP. En este apartado se destaca la contribución al vacío en el conocimiento: **La renovación de las opiniones de expertos** expresado por (Fu et al., 2014), donde se destaca la dificultad para encontrar la inconsistencia en un campo específico dentro de las matrices de comparaciones pareadas. Para resolver este problema se implemento el algoritmo de cobertura de triadas (ver sección 4.1.5) (Wasserman and Faust, 1994) (variación del algoritmo de cobertura de conjuntos), el cual se implemento mediante el uso de dos paquetes del lenguaje de programación Python, tal como lo muestra la sección

5.2.4. junto a la implementación del axioma de intransitividad (eq 4.14).

El último paso propone tres medidas de consenso, la primera que mide el nivel de acuerdo sobre la valoración que dio cada decisor evaluada como la distancia presente con cada una de las valoraciones de los demás participantes. El segundo nivel, nos deja ver el nivel de acuerdo que tienen todos los decisores sobre las alternativas contra los criterios (agregados previamente). El tercer nivel nos muestra el nivel de acuerdo de los decisores sobre cada alternativa y plantea un umbral que nos indica el nivel de consenso del problema; lo cual permite en combinación con el método de eliminación de inconsistencia aumentar el nivel de consenso de manera iterativa (efecto bola de nieve) mediante persuasión que proviene del participante (visualizar la influencia en las redes SNA Figura 5-9 y DEMATEL Figura 5-10) que pueda cambiar su comportamiento.

En cuanto al primer caso de estudio, con respecto a los resultados obtenidos con el SNA, podemos ver que los actores más influyentes son los Uwas y los guarda parques. Esto puede deberse a que son los habitantes más antiguos y la agencia oficial del Parque respectivamente; con la capacidad de analizar la evolución del Parque y, por lo tanto, generan información sin intereses sesgados, por ello los demás actores presentan una elevada confianza hacia ellos. Los actores que muestran una influencia importante en el grupo son la comunidad de U'was, probablemente debido a su actividad económica y los académicos, probablemente debido a su actividad ideológica. Con respecto a los resultados obtenidos a través del proceso de toma de decisiones participativo basado en AHP, encontramos que los resultados no cambian cuando consideramos a todas las partes interesadas con la misma influencia o con diferente importancia en el problema de la toma de decisiones. Esto puede deberse a que las partes interesadas que diferían con el grupo como colectivo, solo afectan la priorización final cuando su influencia (el peso de quien toma las decisiones) aumenta en el modelo de AHP ponderado, como podemos ver en el análisis de sensibilidad del Consenso presentado en el Anexo 1 (Romero-Gelvez and Garcia-Melon, 2016) referente a este caso de estudio. El cálculo del

índice de Consenso nos brinda una forma efectiva de comprobar si los interesados están de acuerdo con la clasificación final que brindó el proceso de AHP. En nuestro caso, el índice obtenido para todas las partes interesadas es bastante alto, mostrando un gran grado de Consenso entre ellos. Finalmente, se resalta que este estudio ofrece una herramienta eficaz que podría usarse para establecer las pautas para el diseño de objetivos estratégicos para el desarrollo del Parque Natural. Aparte de las ventajas mencionadas anteriormente que surgen de la aplicación del AHP en entornos de decisión complejos, una de las fortalezas más significativas es el hecho de que los decisores adquieren más conciencia de los elementos en juego al estructurar el modelo y, por lo tanto, aprenden sobre los problemas mientras resuelven. La trazabilidad es una de las grandes ventajas del procedimiento de AHP. Si bien la propuesta se ha aplicado específicamente a la evaluación de los problemas ambientales del Parque Nacional del Cocuy en Colombia, esta herramienta se puede adaptar a cualquier tipo de problema de toma de decisiones en el campo ambiental, siempre que los criterios y el grupo de partes interesadas estén correctamente identificados. El segundo caso de estudio tiene como objetivo principal la priorización de alternativas para brindar apoyo y mejorar la selección de un nuevo lugar para el eco-turismo en la Amazonía colombiana. En este caso de estudio se resaltan dos aportes: el primero es el uso de un paquete de software propio llamado `AnalyticHierarchyProcess` desarrollado en el lenguaje de programación Julia. El desarrollo del paquete permitió agregar las opiniones de múltiples decisores y aplicar las técnicas de toma de decisiones junto al cálculo del índice de consenso de manera eficiente. Otra aplicación de esta metodología en un caso fuera del contexto ambiental puede consultarse en (Romero Gelvez and Olariaga, ) donde se prioriza el desempeño operacional de los aeropuertos en Colombia.

## 6.2. Contribución científica

Con respecto a la contribución científica de este documento, el modelo desarrollado ofrece una nueva forma de combinar el apoyo a la toma de decisiones y los procedimientos participativos a través de un enfoque que integra la evaluación Multicriterio y el análisis de redes sociales. Este método es capaz de proporcionar un curso sistemático de análisis de las alternativas bajo examen y de los diferentes Tomadores de Decisiones que podrían participar en el proceso. Como se expone en la sección anterior la contribución científica del documento es:

A continuación se establece como la contribución científica suple las necesidades del campo de estudio. También se detalla la prueba de las hipótesis y las respuestas a las preguntas de investigación planteadas.

### Hipótesis y preguntas de investigación

- **Necesidad 1:** Utilizar métodos híbridos en la búsqueda de Consenso para decisiones grupales por lo cual se realizara una revisión de los métodos Multicriterio grupales híbridos y modulares.

**Satisfactor:** *Se utilizaron combinaciones de diferentes metodos que pueden abordarse segun el contexto del problema planteado (en nuestro caso se utilizaron DEMATEL, SNA, AHP y conteo BORDA en el segundo caso de estudio.*

- **Necesidad 2:** Abordar el problema: la opinión de un experto inconsistente o discordante pero con un profundo conocimiento en el problema, puede dejarse de lado por la reducción excesiva del peso asociado a su opinión; el proceso de obtención de un conjunto adecuado de pesos puede exigir de alto esfuerzo computacional. Por lo cual se realizara una revisión de los métodos de análisis y medición de influencias para solucionar el problema de discordancia, con la intensión de propiciar el Consenso grupal.

**Satisfactor:** *El algoritmo de cobertura de triadas encuentra las triadas con mayor inconsistencia facilitando el proceso de mejora de la inconsistencia en las valoraciones para cada matriz de comparaciones pareadas.*

- **Necesidad 3:** Proponer una metodología que integre herramientas de persuasión con MCGDM.

**Satisfactor:** *La recolección de información sobre el nivel de influencia de cada decisor se realizó con base al estudio planteado por (Fishbein, 1975), mediante una pregunta que permite mostrar el nivel de importancia percibida para cada decisor en el grupo.*

- **Hipótesis 1:** Es posible elaborar una revisión de los métodos : (1) toma de decisiones Multicriterio grupales MCGDM, incluyendo métodos híbridos (2) Análisis de influencias que hagan parte o puedan combinarse con toma de decisiones Multicriterio grupales MCGDM (3) herramientas de persuasión propias de la psicología.

**Prueba:** *Se acepta la hipótesis, el capítulo 2 del presente documento muestra el extenso desarrollo y taxonomía del área de estudio.*

- **Hipótesis 2:** Es posible generar una descripción del término “influencias” a partir de en el contexto del análisis de decisión Multicriterio grupal MCGDM.

**Prueba:** *Se acepta la hipótesis, se desarrolla a partir de influencia social (ver sección 2.4)*

- **Hipótesis 3:** Es posible desarrollar una metodología para toma de decisiones Multicriterio grupal que analice y mida las influencias entre grupos de interés para buscar Consenso.

**Prueba:** *Se acepta la hipótesis, se desarrolla en el capítulo 4*



- **Hipótesis 4:** Es posible aplicar esta metodología en un caso de estudio en gestión ambiental.

**Prueba:** *Se acepta la hipótesis, se desarrolla en el capítulo 5*

- De los métodos de toma de decisión grupales, ¿Cuál es el más apropiado para manejar influencias en decisiones participativas en el contexto ambiental?

*En el desarrollo del trabajo se evidenciaron grandes ventajas con el análisis de redes y específicamente con los métodos DEMATEL y SNA*

- ¿Qué métodos deben combinarse para obtener un modelo híbrido que gestione: (1) la importancia de los decisores, (2) el cambio de sus opiniones, y (3) la influencia entre decisores?

*Para determinar (1) la importancia de los decisores se planteo una medida de centralidad (centralidad de sabidussi) inversa (eq. 4.2) y su normalización para calcular el peso del decisor (eq. 4.3) junto a un calculo de influencia y peso basada en DEMATEL, (eq. 4.8). Para (2) el cambio de sus opiniones mediante la identificación de la inconsistencia, se propuso el algoritmo de cobertura de triadas. Finalmente, (3) la influencia entre decisores se obtiene a partir de la informacion recolectada por medio de la pregunta bajada en percepción normativa y las graficas de DEMATEL y SNA.*

- ¿Qué métodos de otras áreas del conocimiento pueden combinarse con MCDA para realizar medición y análisis de influencias entre decisores?

*En el desarrollo del trabajo se evidencia la gran importancia que tiene la psicología social para el desarrollo de los problemas de decisiones grupales.*

- ¿El manejo de influencias entre decisores aporta a la solución los retos en importancia y persuasión postulados al inicio del documento?

*Ciertamente, como se evidencia en la prueba de la metodología en el capítulo 5 del documento, es posible solucionar problemas con grupos pequeños o grandes, aportando solución a los problemas expresados por (Fu et al., 2014; Cabrerizo et al., 2013).*

### 6.3. Cumplimiento de los objetivos específicos

- ó la evolución de los métodos y técnicas para búsqueda de Consenso en la toma de decisiones Multicriterio grupal. Artículo enviado a Q1.
- Se realizó un análisis de los métodos aplicados a la toma de decisiones Multicriterio grupal (MCGDM), y las técnicas para medición y análisis de influencias que se han combinado o que puedan combinarse con técnicas Multicriterio.
- Se estableció la importancia de usar métodos de análisis de influencias en la toma de decisiones grupal existentes y su impacto en la gestión ambiental.
- Se propuso una metodología que permite medir y analizar la importancia de los decisores y su influencia con el fin de buscar Consenso en la toma de decisiones Multicriterio grupal
- Se aplicó la metodología en un dos casos de estudio colombiano en gestión ambiental y se publican dos artículos científicos.

Los modelos de consenso tienen en cuenta la heterogeneidad de los expertos al agregar las opiniones de los expertos para obtener la preferencia colectiva pero no al aconsejar a los expertos cómo cambiar sus preferencias para aumentar el nivel de consenso.

## 6.4. Recomendaciones

- Al desarrollar el estado del arte se evidencio en autores como (Tzeng and Shen, 2017; Tzeng and Huang, 2011; Köksalan et al., 2011; Greco et al., 2016) que se debe realizar un estado del arte sobre algoritmos metaheurísticos que ayuden a genera el mínimo numero de cambios sobre las valoraciones de los decisores con la intension de lograr consenso en decisiones grupales.
- El uso de problemas que relacionan juicios de valor se ve limitado por el uso de pocas comparaciones (Miller, 1956). En el caso de problemas que presenten unicamente información cuantitativa y un numero elevado de comparaciones, se deben desarrollar paquetes de software para facilitar el manejo de altos volúmenes de datos.
- Se deben proponer métodos que faciliten la aplicación de algoritmos de cobertura de conjuntos para mejorar el ratio de consistencia en problemas grupales con muchos decisores tal como lo expresa (Kulakowski, 2018).
- El manejo de altos volúmenes de datos y la necesidad de procesarlos en ambientes de decisión grupal, se refleja en el creciente interés por el análisis de sentimientos en redes sociales y su uso como fuente de información secundaria en problemas multi-criterio que requieren juicios de personas distintas al decisor, por ejemplo en el caso de selección de un nuevo producto o servicio (Jannach et al., 2014).

### 6.4.1. Investigación futura

- Uno de los temas que mas se resalta en el documento es el uso de conjuntos difusos para mejorar la agregación de juicios de valor. Un tema interesante es su combinación con los algoritmos genéticos para predecir información incompleta.

- Fomentar el uso de algoritmos heurísticos para problemas de decisiones grupales de altos volúmenes.
- Desarrollar algoritmos de cobertura de conjuntos para mejorar el ratio de consistencia en problemas grupales con muchos decisores.
- Abordar el manejo de altos volúmenes de datos y la necesidad de procesarlos en ambientes de decisión grupal.

# Apéndice A

## Anexo: Artículos

A review on Consensus-Group-Decision-Making

# A review on Consensus-Group-Decision-Making

Jorge Ivan Romero-Gelvez<sup>a,c,\*</sup>, Felix Antonio Cortes-Aldana<sup>a</sup>, Monica Garcia-Melon<sup>b</sup>, Jorge Aurelio Herrera-Cuartas<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Department of Industrial and Systems Engineering, Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia*

<sup>b</sup>*INGENIO (CSIC-UPV) Universitat Politècnica de València Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, Spain.*

<sup>c</sup>*Faculty of Natural Sciences and Engineering, Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano, Bogota, Colombia*

---

## Abstract

This paper assembles Multi-criteria decision-making (MCDM) works/studies related to consensus-reaching-process. First, we give a background about the early roots and development of MCDM and Group-Decision-Making, focusing on Consensus reaching process. Next, we develop a Systematic Literature Review (SLR) on Consensus-Group-Decision-Making (CGDM) documents published until 2019 to identify the connections between Consensus-Group-Decision-making and related topics. This work uses 2000 documents with relevant metadata about every publication item (including citation information, Bibliographical information, abstract and keywords, funding details and other information). This paper also shows the relations among the most relevant authors, documents and journals through network analysis. Then the authors cluster relevant topics linked with "GDM" and "Consensus". Finally, the authors perform a bibliometric analysis over CGDM. As results, the authors find that the most relevant techniques applied to CGDM are related to Fuzzy sets and the revision shows that there is a rising interest for combining network analysis with group decision making for improving the feedback in dynamic/iterative and interactive models.

*Keywords:* Group-Decision-Making, Consensus, Networks, Review

*2010 MSC:* 22E46, 53C35, 57S20

---

\*Corresponding author

*Email address:* joiromeroge@unal.edu.co (Jorge Ivan Romero-Gelvez)

---

## 1. Introduction

According to [1] Group-decision-making is commonly understood to be an aggregation/reduction process of several individual opinions/preferences among something into a set of collective preferences or group preferences. GDM aims to  
5 add opinions from more than one individual in a consensus/collective decision. The disadvantage in these decisions presents when each group-member shows information-asymmetry in their motivations and attitudes for reaching the same goal. It is common to see an increasing number of publications on specific points of view rather than how group choices are made. Decision-makers use a large  
10 group of techniques to obtain a final decision. Some of them use social choice theory, other use experts judgment/ group participation analysis and others use game theory.

The structure of this work is given as follows: In section 2 this paper contains the background of research MCDM, GDM and CGDM. Next, section 3 describes  
15 the research methodology. Section 4 covers the results of bibliometric analysis. Finally, section 5 discusses the results, give the conclusions and identify the future research needs.

## 2. Background

### *2.1. A Short History of Multi-Criteria-Decision-Making*

***The beginning.*** One of the oldest records of formal decision-making processes  
20 refers to ancient Greece, where processes of collective decision-making are evident, such as the advice of the gods and the Olympic goddesses, who made the decisions with the contribution of a panel of experts, where Zeus (officiated as president of the gods), Athena (the goddess of wisdom), Hermes (the god of  
25 information and commerce) who, along with any other god whose area of expertise was relevant, held participatory sessions aimed at finding the best solution to problems [2].

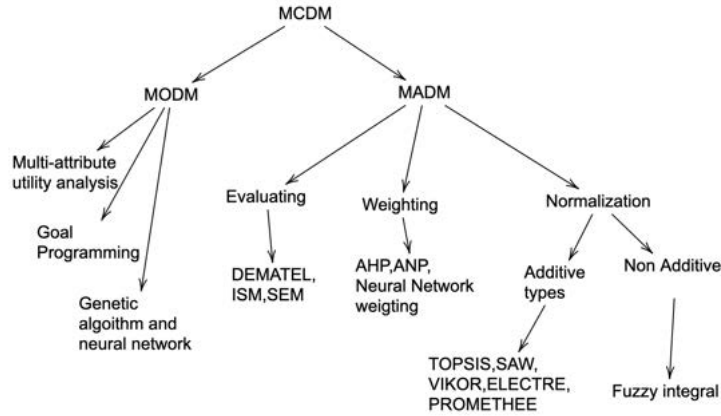



Figure 1: MCDM reduced taxonomy. Interpretive structural modelling (ISM), Structural equation modelling (SEM). Based on Castro et al. [3].

Other exciting contributions from the ancient Greeks made by Democrates who advocated decentralized decision making and resource allocation, Xenophon who  
 30 many years before the first notions of linear programming, gives a notion of the optimal combination of resources [4]. However, the most exciting topic of the ancient Greeks to decision-making raised by Aristotle, with the first approach to a multicriteria concept in his work *Nicomachean Ethics* [5].

Centuries later, Nicolas Bernoulli and Pierre Rmond de Monrmort, raise the  
 35 paradox of St. Petersburg in 1713. Nicolas, brings the problem to his cousin Daniel Bernoulli who gives solution to it in 1738 [6]. The conclusion is that humans make decisions not because of their expected value but because of their utility value. Whose implications are that human beings select the alternative with the highest utility value when facing problems muti attribute MADM [7].  
 40 After Bernoulli, there arises the moral or prudential algebra of [8] who exposes his method by letters to his friend Joseph Priestly. Franklin’s work is recognized by many as the seminal work that gives rise to the multicriteria decision-making area.

After Franklin, the work in mathematical applications for social sciences of  
 45 Marie-Jean-Antoine-Nicolas de Caritat (Marques de Condorcet), specifically in





1970 SenGeneral conditions that eliminate intransitivity in the rule of the majority;  
 1961 YntemaDecomposition of The utility function  
 1961 EdwardsTeoría de la decisión conductual  
 1959 DabreuThe theory of value: an axiomatic analysis of economic equilibrium  
 1959 Adamsmulti-attribute utility theory  
 1959 ShapleyEquilibrium points in games with vector payoffs  
 1956 Blackwellmin-max theorem  
 1955 Simonsaspiration level theories  
 1954 Maymulti-attribute utility  
 1954 EdwardsThe Expected Utility Model  
 1954 ChurchmanAn approximate measure of value  
 1951 ArrowArrow's impossibility theorem  
 1950 John NashNon-Cooperative Games  
 1944 Von Neuman & MorgensternGame Theory  
 1938 Samuelsonweak axiom of revealed preference  
 1926 Frank P. RamseySubjective Utility Model  
 1906 V Paretopareto efficiency in edgeworth box  
 1906 Hausdorfftopological Spaces and ordered set  
 1895 1897 Cantorinfinite-Dimensional Spaces  
 1881 Francis EdgeworthEdgeworthbox  
 1785 CondorcetMajority Decisions  
 1781 de BordaBorda count  
 1772 B.Franklilmoral or prudential algebra  
 1738 Bernouilliparadox of St. Petersburg  
 4th century B.C Aristotlefirst approach to a multicriteria concept

Figure 2: Historical evolution of early works on MCDM

the field of voting and elections. His work in decision probability in majority elections (where he develops his jury theorem, the paradox and the method of Condorcet) [9] contrast with the method of Jean-Charles de Borda, another contemporary academic who stood out for his proposal of use of Borda count  
 50 [10]. Years later, Georg Cantor and Felix Hausdorff introduce the bases for the multiobjective optimization. Cantor with his contributions introducing the concept of equivalence classes and giving the first example of a utility function [11] and [12] and Hausdorff when presenting the first example of a complete ordering [13]. Later that concept become the mathematical bases used in MCDM. In the  
 55 same year Pareto work Edgeworth boxes and proposed efficient boundary sets for them [14]. Although the origins of the decision-making field are diverse, authors such Koksalan [5] expose two main groups of multicriteria decision-making can, one of them being the theory of utility and the other is multiobjective math-

emational programming. This classification, also given by Hwang [15] shows a  
60 taxonomy for MADM improved by Tzeng [7]. The Fig 1 shows a timeline with  
these early developments.<sup>2</sup>

**Utility theory.** The origins of utility theory go back to Bernoulli's study in  
1738 on the solution to the paradox of St. Petersburg [6] discussed in the previ-  
ous paragraph. Subsequently, Ramsey [16] proposes the first axioms to choose  
65 alternatives with uncertain payments, together with a subjective utility model  
in 1926 but published in 1931, one year after his death. In 1938 Samuelson[17]  
publishes *A note in the pure theory of consumer behaviour* where he exposes  
the beginning of his axiom in revealed preference. In 1944 Von Neumann [18]  
formulated an approach to the concept of MCDM with "*Problems of several*  
70 *conflicting maximums*" in his famous work of *Theory of games and economic*  
*behaviour*. However, these authors did not pursue the concept of multicriteria  
later, developing, in turn, the one-dimensional game theory. Years later, John  
Nash works on the solution of non-cooperative games with  $n$  people [19] and  
proposes a solution for negotiation problems [20]. In 1951, Arrow's impossibil-  
75 ity theorem appeared, also called the Arrow paradox, which demonstrates the  
impossibility of aggregation systems to convert the (ordinal) preferences of indi-  
viduals into a group classification, [21] and later appeared Churchman with[22]  
Approximate measure of value.

The father of the theory of behavioural decision is Edwards [23] with his  
80 theory of decision making, where he exposes the expected utility model and  
then publishes *theory of behavioural decision* [24] where he shows how that  
people make decisions and how to improve them. [25] postulates the *rational*  
*man* when making decisions, people are not maximizers of utility, but satisfiers  
that establish levels of aspiration. [26] theory of value: an axiomatic analysis of  
85 economic equilibrium [27] Topological methods in the theory of cardinal utility.  
To this list of seminal mathematical works we must add the works of [28] and [29]  
in games with a payment vector. Unfortunately, these works were not improved.

On a different front, the bases of what is known today as "multi-attribute

utility theory” lie in the works of [30, 31, 32], which introduce the decomposition  
 90 of the utility function including and without including interactive terms. How-  
 ever, even in this area, there was a scientific pause, and there were no significant  
 works to follow it until [33] with *General conditions that eliminate intransitivity  
 in the majority rule*.

## 2.2. A Short History of Group-Decision-Making

95 According to Dong et al. [34] from a macro perspective, all modern society  
 is mostly a problem of group decisions, where two practical approaches are: the  
 voting models usually used in politics and the market mechanisms applied in  
 economic issues.

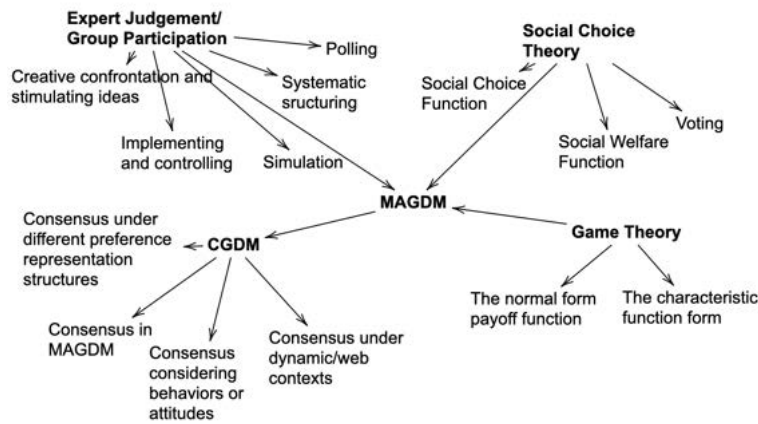


Figure 3: MAGDM reduced taxonomy. Based on [34, 1]

The history of the problems of group decisions goes back to ancient Greece,  
 100 where their stories referred to the use of collective decisions [2], subsequently  
 there is a record of the use of voting schemes for group decisions [35, 10, 9].  
 Years later, from the study of decisions as functions of expected utility of Von  
 Newman [18] great advances in group decision making arise, such as the theory  
 of social choice of Arrow [36] and the theory of the perspective of Kahneman  
 105 and Tversky [37, 38].

According to [1] Group decision making includes such diverse and interconnected fields as preference analysis, utility theory, social choice theory, committed decision theory, the theory of voting, general game theory, Expert evaluation analysis, aggregation of qualitative factors, economic equilibrium theory, fuzzy sets theory, preferences, social network analysis, social influence analysis among others. Group-decision-making problems are diverse and widely varied. However, they share common characteristics like multiple-criteria/ objectives/attributes, conflict among criteria and Committee (all decision-makers agree to specific rules that promotes their interests). A reduced taxonomy for Group decision making under multiple attributes can be seen in Figure3.

A group-decision-making problem (GDM) refers to seek collective solutions by merge individual opinion of several decision-makers or stakeholders. Also, we can see it as the relationship between individual opinions. A general aggregation process based on Dong et al. [34] can be defined as follows:

$$F(op^1, op^2, \dots, op^n) = op^c, \quad (1)$$

where the set  $op = \{op^1, op^2, \dots, op^n\}$  reflects the opinions of  $n$  decision-makers or stakeholders involved in the GDM problem. However, according to Ervural [39] consensus

Consensus in a GDM process is used not only to seek the agreement of most participants, but also to provide the resolution or palliation of minority disapprovals. The consensus process is necessary to obtain a final ranking or selection with a certain level of agreement between the DMs. Clearly, it is preferable that the set of DMs reach a high degree of consensus before applying the selection process [40]. However, most of studies in the literature, consensus process is not included. We added this factor to classify the literature according to whether consensus is used or not.

### 2.3. A Short History of Consensus-Group-Decision-Making

The first mathematical approaches of consensus model were given by French [41, 42]. Later, Harary proposes the use of Markov Chains [43]. Years later De

Groot [44] and French [45] extended the consensus theory into a more general  
135 form. Years later, several models of consensus-reaching have been proposed, like  
[46, 47]. According to [57] "the consensus is defined as the full and unanimous  
agreement of all experts regarding all the feasible alternatives." However, a  
full agreement is not always necessary in practice. This has led to the use of  
soft consensus/consensus-measure [48, 49, 50, 51, 52]. According to the soft  
140 consensus theory, we use the classification scheme given by [34] with four main  
groups.

The first one refers to consensus under different preference representation  
structures, due to many models had different presentation structures: a large  
number of consensus models for GDM with different preference representation  
145 structures have been proposed in the literature (i.e. [51] proposed the use of  
additive preference relations, Herrera [53] proposed the use of linguistic pref-  
erence relations and also proposed approaches to support consensus reaching  
with incomplete preference relations among others). The second group refers  
to consensus in MAGDM as follows: value judgments are provided by decision-  
150 makers/experts using decision matrices over multiple attributes and alterna-  
tives. Fu is the most important author on this topic [68, 69, 70, 71, 72]. The  
third group refers to consensus under dynamic/Web contexts, where GDM prob-  
lems have regular changes over alternatives and experts. In this topic, Prez et al.  
[83, 84] proposed dynamic consensus models to manage dynamic changes over a  
155 set of alternatives. Also, Alonso et al. [81] proposed a dynamic consensus model  
to deal with the decision situation that the participation and contribution rates  
of experts are dynamically changed. The last group involves consensus consid-  
ering behaviours/attitudes and is related to models for dealing with reactive  
attitudes from decision-makers (i.e. dishonest, incomplete, reactive opinions)  
160 Recently, Palomares et al. [87] proposed a novel consensus framework for the  
GDM with additive preference relations by taking into account non-cooperative  
behaviours. Further, Palomares et al. extended the consensus framework to  
detect and manage non-cooperative behaviours under the linguistic context.

### 3. Research Methodology

165 The aim of a systematic review of literature is to identify, evaluate, and  
analyze available documents related to the topics of interest in a formal and  
structured way. Protocol steps for the systematic review of the literature  
develop as follows:

1. Search on databases and identify keywords.
- 170 2. Exclude duplicated documents.
3. Review abstracts and keywords in order to exclude no-related topics.
4. Build corpus-database and review articles in order to identify applications  
related.
5. Review articles based on full text reading and build a graphical network  
175 analysis.

An initial search in the database Scopus<sup>®</sup> and its associated journals give 5500  
results. We exclude a set of topics for limit the results and give more focus to  
our search. Next, we perform a bibliometric network analysis based on co-word  
analysis using the **R** package "bibliometrix". The results are given in the next  
180 paragraph.

#### 3.1. Research Questions

- RQ1 Which are the CGDM methods frequently applied?
- RQ2 Which are the seminal works in CGDM?
- RQ3 Wich are the most relevant papers, authors, related topics and future  
185 research gaps?

The main objective of our research questions is to understand wich are the  
common methods and their relations. RQ3 gets a framework of CGDM and  
future research related.

#### 4. Results

190 In the Table 1 can see an initial scope of the bibliometric analysis. We analyze 2000 articles from 943 journals, 6693 keywords plus, 4062 author keywords, over a period from 1976 to 2019.

Table 1: Initial scope

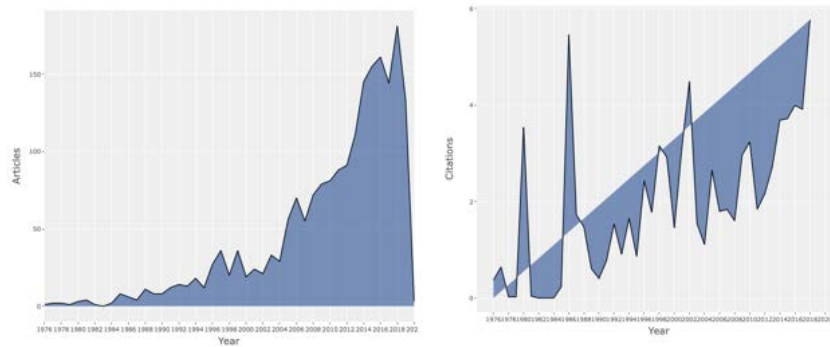
<b>Description</b>	<b>Results</b>	<b>Description</b>	<b>Results</b>
Documents	2000	Author Appearances	5571
Sources (Journals, Books, etc.)	943	Authors of single-authored documents	361
Keywords Plus (ID)	6693	Authors of multi-authored documents	3349
Author's Keywords (DE)	4062	Single-authored documents	428
Period	1976 - 2020	Documents per Author	0.539
Average citations per documents	20.28	Authors per Document	1.85
Authors	3710	Co-Authors per Documents	2.79
		Collaboration Index	2.13

Table 2: Main Information

<b>Document types</b>	<b>Results</b>	<b>Document types</b>	<b>Results</b>
Article	2000	Editorial	1
Article in Press	19	Note	2
Book	10	Report	1
Book Chapter	60	Review	50
Conference Paper	503	Short Survey	2
Conference Review	18		

Following the review protocol, we do multiple searches and refine results. As an initial result, we get from the Scopus database an annual growth rate: 2.59%  
 195 publications related to CGDM. This annual growth rate (CAGR) is a specific

term for the geometric progression ratio that provides a constant rate, In our search, we can see exponential growth behaviour over CGDM. Figure 4



(a) Annual Scientific Production. (b) Average Article Citations Per Year.

Figure 4: Document production over time.

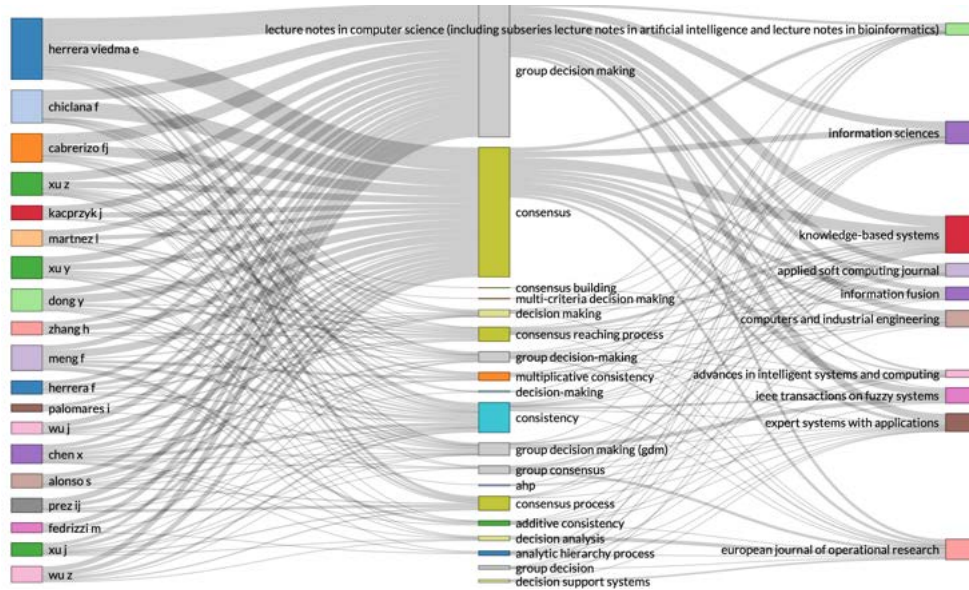


Figure 5: Three fields plot

The three-fields plot show the most important topics, journals, authors and the keywords they use. As we can see in Figure5 the most relevant journal in



200 CGDM is *knowledge-based systems*, followed by *information sciences*

Table 3: Literature review regarding consensus

Consensus models	Related research
Consensus under different preference representation structures	[54, 55, 56, 57, 58, 53, 59, 60, 50, 61, 62, 63, 64, 40, 65, 49, 66, 67]
Consensus in MAGDM	[68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80]
Consensus under dynamic/web contexts	[81, 82, 83, 84, 85, 86]
Consensus considering behaviors and attitudes	[87, 88, 89, 90, 91]

In the Table 3 can be seen as the most relevant works among the fourth main topic classification schema in CGDM.

The historiographic map is a graph proposed by E. Garfield [94] to represent a chronological network map of most relevant direct citations resulting from a bibliographic collection[92, 93] Table4. In Figure 6 can see the histographic-  
 205 map, where each node represents a document cited by other documents, each edge represents a direct citation. Nodes and edges are plotted on an oriented graph where the horizontal axis represents the publication years. From the 6 we can notice that the seminal work on Consensus Group decision making is  
 210 "Group decision making with a fuzzy linguistic majority" given by Kacprzyk in 1986[95]. The Table 4 is also an historiographic map, and show the importance of every document by their local (only in this search) and global citation score.

Table 4: Historiographic Map

Paper	DOI	Year	LCS	GCS
HERRERA F, 1996,[53]	<a href="https://doi.org/10.1016/0165-0114(95)00107-7">10.1016/0165-0114(95)00107-7</a>	1996	176	766
KACPRZYK J, 1986,[95]	<a href="https://doi.org/10.1016/0165-0114(86)90014-X">10.1016/0165-0114(86)90014-X</a>	1986	98	499
HERRERA-VIEDMA E, 2002,[59]	<a href="https://doi.org/10.1109/TSMCA.2002.802821">10.1109/TSMCA.2002.802821</a>	2002	197	467
HERRERA-VIEDMA E, 2005,[60]	<a href="https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2005.856561">10.1109/TFUZZ.2005.856561</a>	2005	88	428
BORDOGNA G, 1997,[96]	<a href="https://doi.org/10.1109/3468.553232">10.1109/3468.553232</a>	1997	66	415
HERRERA-VIEDMA E, 2007,[61]	<a href="https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2006.889952">10.1109/TFUZZ.2006.889952</a>	2007	174	399
KACPRZYK J, 1992,[56]	<a href="https://doi.org/10.1016/0165-0114(92)90107-F">10.1016/0165-0114(92)90107-F</a>	1992	121	335
HERRERA-VIEDMA E, 2014,[50]	<a href="https://doi.org/10.1016/J.INFFUS.2013.04.002">10.1016/J.INFFUS.2013.04.002</a>	2014	150	278
HERRERA F, 1997, -a[63]	<a href="https://doi.org/10.1016/S0165-0114(96)00047-4">10.1016/S0165-0114(96)00047-4</a>	1997	78	263
MATA F, 2009, -a[66]	<a href="https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2009.2013457">10.1109/TFUZZ.2009.2013457</a>	2009	97	253
CABRERIZO FJ, 2010, -a[58]	<a href="https://doi.org/10.1016/J.KNOSYS.2009.11.019">10.1016/J.KNOSYS.2009.11.019</a>	2010	77	248
ALONSO S, 2010,[81]	<a href="https://doi.org/10.1016/J.INS.2010.08.005">10.1016/J.INS.2010.08.005</a>	2010	91	235
CABRERIZO FJ, 2010,[40]	<a href="https://doi.org/10.1007/S00500-009-0453-X">10.1007/S00500-009-0453-X</a>	2010	126	214
CHICLANA F, 2013,[49]	<a href="https://doi.org/10.1016/J.INS.2012.09.014">10.1016/J.INS.2012.09.014</a>	2013	87	191
BEN-ARIEH D, 2006,[54] -a	<a href="https://doi.org/10.1109/TSMCA.2005.853488">10.1109/TSMCA.2005.853488</a>	2006	69	189
CABRERIZO FJ, 2009, -a[64]	<a href="https://doi.org/10.1142/S0219622009003296">10.1142/S0219622009003296</a>	2009	63	186
DONG Y, 2010,[57]	<a href="https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2009.08.013">10.1016/J.EJOR.2009.08.013</a>	2010	76	162
ALONSO S, 2013,[82]	<a href="https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2012.08.009">10.1016/J.ASOC.2012.08.009</a>	2013	64	153
CHICLANA F, 2008,[65]	<a href="https://doi.org/10.1142/S0218488508005236">10.1142/S0218488508005236</a>	2008	65	149
PALOMARES I, 2014, -a-b-c-d-e[87]	<a href="https://doi.org/10.1016/J.INFFUS.2014.03.002">10.1016/J.INFFUS.2014.03.002</a>	2014	62	116

In Figures 7 and 8 we can see the source dynamics (number of publications per year in every journal) showing as the three most important journals in the last years *knowledge-based systems* and *information sciences* also we can see the publication dynamics of the most important authors in CGDM. Figure 8 shows that Kacprzyk and Fedrizzy are the most constant authors among years. Also, we can see that in the last years the most active authors are Herrera, Chiclana

and Kacprzyk.

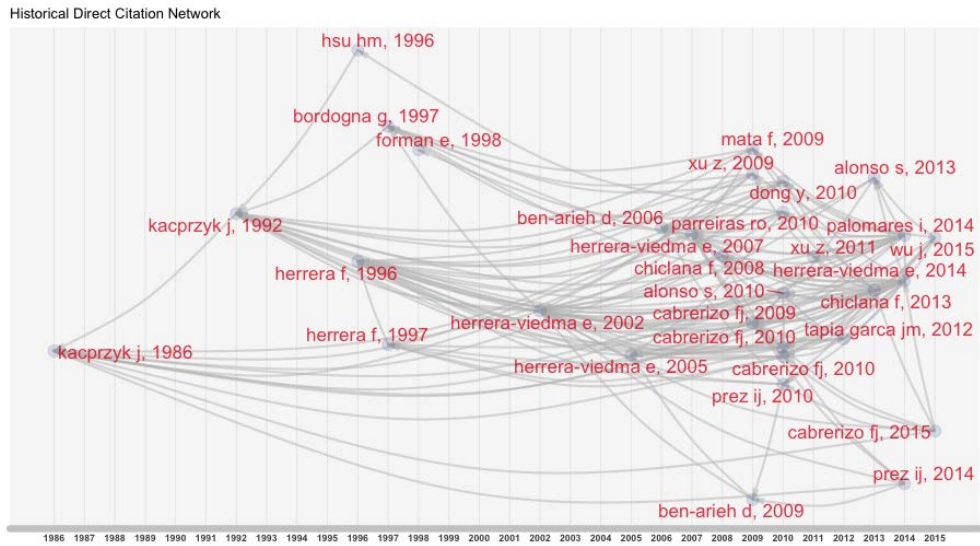


Figure 6: Historical direct citation network on CGDM

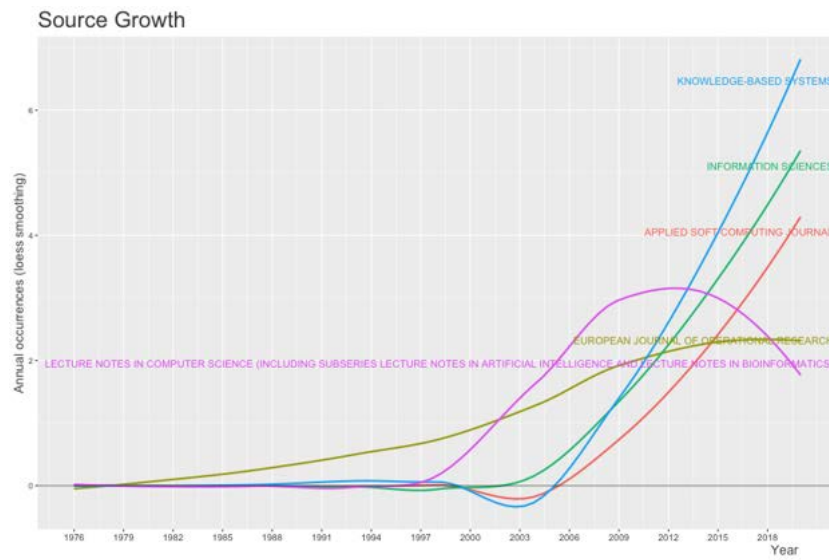


Figure 7: Source growth over time - CGDM

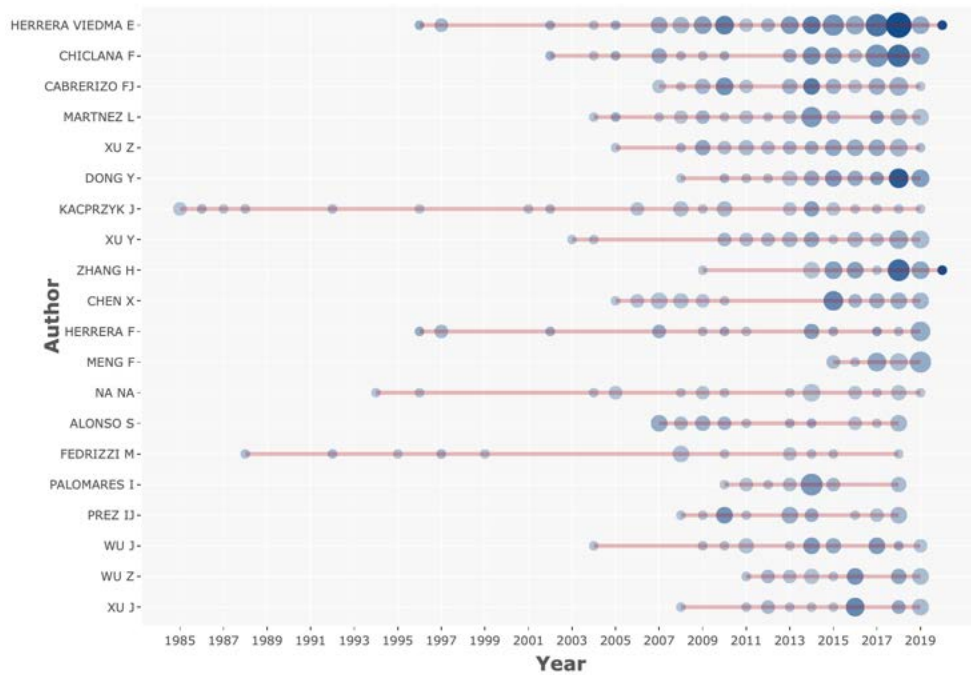
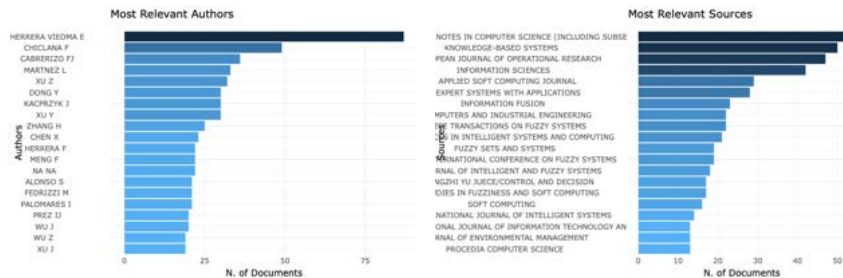


Figure 8: Top-Authors Production over the Time



(a) Most Relevant Authors.

(b) Most Relevant Sources.

Figure 9: Relevance of documents by number of citations.

220 From Figure 10 we can observe that there are strong intellectual and social relations between the most important authors related to CGDM. These two networks are developed taking on account the centrality measure of betweenness

over the authors related to document count.

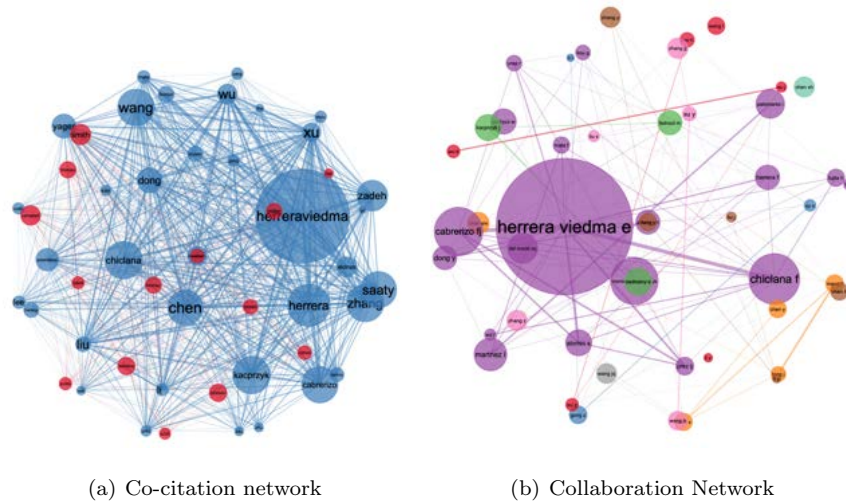


Figure 10: Co-citation and collaboration networks between authors.

## 5. conclusions and recomendations

225 This paper shows a literature review to describe the thematic evolution of  
 CGDM. The review squematize 2000 papers, 943 journals until June 2019 into  
 four main areas. The documents are classified by publication year, publication  
 journal, author and keywords. RQ1. The most important techniques are related  
 with four main areas as follows.

- 230
- Consensus under different preference representation structures [54, 55, 56,  
 57, 58, 53, 59, 60, 50, 61, 62, 63, 64, 40, 65, 49, 66, 67]
  - Consensus in MAGDM [68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80]

235

  - Consensus under dynamic/web contexts [81, 82, 83, 84, 85, 86]

- Consensus considering behaviors and attitudes [87, 88, 89, 90, 91]

RQ2. The seminal works in CGDM are listed in the Table 4. Their relations  
240 can be seen in Figure 8. RQ3. The most important journals and authors are  
listed in 9. Also, the intellectual and thematic relationship between them are  
plotted in10

From the intensive lecture of full papers, we synthesize: there is a gap in the  
use of social influence to solve CGCDM problems [89]. Social Network Analysis  
245 arises as a topic of interest to solve CGDM problems in dynamic and complex  
contexts. Both can be considered as an option and should be the object of  
future researches.

## References

- [1] C.-L. Hwang, M.-J. Lin, Group decision making under multiple criteria:  
250 methods and applications, Vol. 281, Springer Science & Business Media,  
2012.
- [2] S. Theofanides, The olympian style of management: The first model of  
decision making at the top, in: 5th International Conference Proceedings:  
Integrating Technology & Human Decisions–Global Bridges Into the 21st  
255 Century, Vol. 1, 1999, p. 780.
- [3] D. M. Castro, F. S. Parreiras, A review on multi-criteria decision-making  
for energy efficiency in automotive engineering, Applied Computing and  
Informatics.
- [4] S. H. Zanakis, S. Theofanides, A. N. Kontaratos, T. P. Tassios, Ancient  
260 greeks’ practices and contributions in public and entrepreneurship decision  
making, Interfaces 33 (6) (2003) 72–88.
- [5] M. Köksalan, J. Wallenius, Z. S., An early history of multiple criteria de-  
cision making, in: G. S, E. M. (Eds.), Multiple Criteria Decision Analysis

- State of the Art Surveys Second Edition, Springer Science+Business Media,  
 265 New York, 2016, pp. 3–17.
- [6] D. Bernoulli, Exposition of a new theory on the measurement of risk, *Econometrica* 22 (1) (1954) 23–36.
- [7] G.-H. Tzeng, J.-J. Huang, Multiple attribute decision making: methods and applications, Chapman and Hall/CRC, 2011.
- 270 [8] B. Franklin, From benjamin franklin to joseph priestley, 19 september 1772, in: W. B. Willcox (Ed.), *The Papers of Benjamin Franklin*, vol. 19, November 1, 1779, January 1 through December 31, 1772., New Haven and London: Yale University Press, 1772, p. 299300.
- [9] M. J. Condorcet, et al., Essai sur l’application de l’analyse à la probabilité  
 275 des décisions rendues à la pluralité des voix, Vol. 252, *American Mathematical Soc.*, 1785.
- [10] J. C. de Borda, Mémoire sur les élections au scrutin.
- [11] G. Cantor, Contributions to the foundation of transfinite set theory, *Mathematische Annalen* 46 (1895) 481–512.
- 280 [12] G. Cantor, contributions to the foundation of transfinite set theory, *Mathematische Annalen* 49 (1897) 207–246.
- [13] F. Hausdorff, Investigations concerning order types, *Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematische-Physische Klasse* 58 (1906) 106–169.
- 285 [14] V. Pareto, *Manuale di economica politica*, societa editrice libraria, Manual of political economy 1971.
- [15] C.-L. Hwang, K. Yoon, Methods for multiple attribute decision making, in: *Multiple attribute decision making*, Springer, 1981, pp. 58–191.

- [16] F. P. Ramsey, "Truth and probability", in the foundation of mathematics  
290 and other logical essays. new york, harcourt, brace and co.
- [17] P. A. Samuelson, A note on the pure theory of consumer's behaviour, *Economica* 5 (17) (1938) 61–71.
- [18] J. Von Neumann, O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press (1944) 625.
- 295 [19] J. F. Nash Jr, Equilibrium points in n-person games, *Proceedings of the national academy of sciences* 36 (1) (1950) 48–49.
- [20] J. F. Nash Jr, The bargaining problem, *Econometrica: Journal of the Econometric Society* (1950) 155–162.
- [21] K. J. Arrow, et al., *Social choice and individual values*.
- 300 [22] C. W. Churchman, R. L. Ackoff, An approximate measure of value, *Journal of the Operations Research Society of America* 2 (2) (1954) 172–187.
- [23] W. Edwards, The theory of decision making., *Psychological bulletin* 51 (4) (1954) 380.
- [24] W. Edwards, Behavioral decision theory, *Annual review of psychology*  
305 12 (1) (1961) 473–498.
- [25] H. A. Simon, A behavioral model of rational choice, *The quarterly journal of economics* 69 (1) (1955) 99–118.
- [26] G. Debreu, *Theory of value: an axiomatic analysis of economic equilibrium.*, Tech. rep., Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University, New York (1959).  
310
- [27] G. Debreu, *Topological methods in cardinal utility theory*, Tech. rep., Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University (1959).
- [28] D. Blackwell, An analog of the minimax theorem for vector payoffs., *Pacific Journal of Mathematics* 6 (1) (1956) 1–8.



- 315 [29] L. S. Shapley, Equilibrium points in games with vector payoffs, *Naval Research Logistics Quarterly* 6 (1) (1959) 57–61.
- [30] K. O. May, Transitivity, utility and aggregation in preference patterns, *Econometrica* 22 (1) (1954) 1–13.
- [31] E. Adams, R. Fagot, A model of riskless choice, *Behavioral Science* 4 (1)  
320 (1959) 1–10.
- [32] D. B. Yntema, W. S. Torgerson, Man-computer cooperation in decisions requiring common sense, *IRE Transactions on Human Factors in Electronics* (1) (1961) 20–26.
- [33] A. Sen, The impossibility of a paretian liberal, *Journal of political economy*  
325 78 (1) (1970) 152–157.
- [34] Y. Dong, J. Xu, Dong, *Consensus building in group decision making*, Springer, 2015.
- [35] R. Llull, Blaqueria, Alacant : Biblioteca Virtual Joan Llus Vives, 2008, 2008.
- 330 [36] K. J. Arrow, E. W. Barankin, D. Blackwell, Admissible points of convex sets., in: H. W. Kuhn, A. W. Tucker (Eds.), *Contributions to the Theory of Games*, Vol. 2, Princeton University Press, Princeton N.J., 1953, pp. 87–91.
- [37] D. Kahneman, Tversky a.(1979), Prospect theory: an analysis of decision  
335 under risk (1979) 263–292.
- [38] A. Tversky, D. Kahneman, Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty, *Journal of Risk and uncertainty* 5 (4) (1992) 297–323.
- [39] B. Ervural, Ö. Kabak, A taxonomy for multiple attribute group decision  
340 making literature, in: 2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), IEEE, 2015, pp. 1–8.

- [40] F. J. Cabrerizo, J. M. Moreno, I. J. Pérez, E. Herrera-Viedma, Analyzing consensus approaches in fuzzy group decision making: Advantages and drawbacks, *Soft Computing* 14 (5) (2010) 451–463.
- 345 [41] J. R. P. F. Jr, [A FORMAL THEORY OF SOCIAL POWER](#), Vol. 194, ACADEMIC PRESS, INC., 1956. doi:10.1016/B978-0-12-442450-0.50010-9.  
URL <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-442450-0.50010-9>
- [42] L. Coch, J. R. P. French, *Human Relations*doi:10.1177/001872674800100408.  
350
- [43] F. Harary, A criterion for unanimity in french’s theory of social power.
- [44] M. H. Degroot, Reaching a Consensus Reaching a Consensus (October 2013) (2012) 37–41.
- [45] S. French, Consensus of opinion 7 (1981) 332–340.
- 355 [46] N. E. Friedkin, E. C. Johnsen, Social influence and opinions, *Journal of Mathematical Sociology* 15 (3-4) (1990) 193–206.
- [47] K. Lehrer, C. Wagner, *Rational consensus in science and society: A philosophical and mathematical study*, Vol. 24, Springer Science & Business Media, 2012.
- 360 [48] F. J. Cabrerizo, J. M. Moreno, I. J. Pérez, E. Herrera-Viedma, [Analyzing consensus approaches in fuzzy group decision making: advantages and drawbacks](#), *Soft Computing* 14 (5) (2009) 451–463. doi:10.1007/s00500-009-0453-x.  
URL <http://link.springer.com/10.1007/s00500-009-0453-x>
- 365 [49] F. Chiclana, J. M. Tapia García, M. J. Del Moral, E. Herrera-Viedma, A statistical comparative study of different similarity measures of consensus in group decision making, *Information Sciences* 221 (2013) 110–123.

- [50] E. Herrera-Viedma, F. J. Cabrerizo, J. Kacprzyk, W. Pedrycz, A review of soft consensus models in a fuzzy environment, *Information Fusion* 17 (1) (2014) 4–13.
- [51] J. Kacprzyk, M. Fedrizzi, A softmeasure of consensus in the setting of partial (fuzzy) preferences, *European Journal of Operational Research* 34 (3) (1988) 316–325.
- [52] B. Loewer, Special issue on consensus, *Synthese* 62 (1) (1985) 1–122.
- [53] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, et al., A model of consensus in group decision making under linguistic assessments, *Fuzzy sets and Systems* 78 (1) (1996) 73–87.
- [54] D. Ben-Arieh, Z. Chen, Linguistic-labels aggregation and consensus measure for autocratic decision making using group recommendations, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A:Systems and Humans* 36 (3) (2006) 558–568.
- [55] J. Kacprzyk, Group decision making with a fuzzy linguistic majority, *Fuzzy Sets and Systems* 18 (2) (1986) 105–118.
- [56] J. Kacprzyk, M. Fedrizzi, H. Nurmi, Group decision making and consensus under fuzzy preferences and fuzzy majority, *Fuzzy Sets and Systems* 49 (1) (1992) 21–31.
- [57] Y. Dong, Y. Xu, H. Li, B. Feng, The OWA-based consensus operator under linguistic representation models using position indexes, *European Journal of Operational Research* 203 (2) (2010) 455–463.
- [58] F. J. Cabrerizo, I. J. Pérez, E. Herrera-Viedma, Managing the consensus in group decision making in an unbalanced fuzzy linguistic context with incomplete information, *Knowledge-Based Systems* 23 (2) (2010) 169–181.
- [59] E. Herrera-Viedma, F. Herrera, F. Chiclana, A consensus model for multi-person decision making with different preference structures, *IEEE Trans-*

- 395 actions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans  
32 (3) (2002) 394–402.
- [60] E. Herrera-Viedma, L. Martinez, F. Mata, F. Chiclana, A consensus support system model for group decision-making problems with multigranular linguistic preference relations, *IEEE Transactions on fuzzy Systems* 13 (5)  
400 (2005) 644–658.
- [61] E. Herrera-viedma, S. Alonso, F. Chiclana, F. Herrera, A Consensus Model for Group Decision Making With Incomplete Fuzzy Preference Relations, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 15 (5) (2007) 863–877.
- [62] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, J. L. Verdegay, [A model of consensus in group decision making under linguistic assessments](#), *Fuzzy Sets and Systems* 78 (1) (1996) 73–87.  
405  
URL <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0001877416{&}partnerID=40{&}md5=9f0037aa6e02745283acf5b7e356e698>
- 410 [63] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, J. L. Verdegay, A rational consensus model in group decision making using linguistic assessments, *Fuzzy Sets and Systems* 88 (1) (1997) 31–49.
- [64] F. J. Cabrerizo, S. Alonso, E. Herrera-Viedma, A consensus model for group decision making problems with unbalanced fuzzy linguistic information,  
415 *International Journal of Information Technology and Decision Making* 8 (1) (2009) 109–131.
- [65] F. Chiclana, F. Mata, L. Martinez, E. Herrera-Viedma, S. Alonso, Integration of a consistency control module within a consensus model, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*  
420 16 (SUPPL. 1) (2008) 35–53.
- [66] F. Mata, L. Martínez, E. Herrera-Viedma, An adaptive consensus support

model for group decision-making problems in a multigranular fuzzy linguistic context, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 17 (2) (2009) 279–290.

- 425 [67] J. T. Garcı, M. J. del Moral, M. Martınez, E. Herrera-Viedma, et al., A consensus model for group decision making problems with linguistic interval fuzzy preference relations, *Expert Systems with Applications* 39 (11) (2012) 10022–10030.
- [68] C. Fu, S.-L. Yang, The group consensus based evidential reasoning approach for multiple attributive group decision analysis, *European Journal of Operational Research* 206 (3) (2010) 601–608.
- 430 [69] C. Fu, S. Yang, An attribute weight based feedback model for multiple attributive group decision analysis problems with group consensus requirements in evidential reasoning context, *European Journal of Operational Research* 212 (1) (2011) 179–189.
- 435 [70] C. Fu, S. Yang, An evidential reasoning based consensus model for multiple attribute group decision analysis problems with interval-valued group consensus requirements, *European Journal of Operational Research* 223 (1) (2012) 167–176.
- [71] C. Fu, M. Huhns, S. Yang, A consensus framework for multiple attribute group decision analysis in an evidential reasoning context, *Information Fusion* 17 (2014) 22–35.
- 440 [72] C. Fu, J.-B. Yang, S.-L. Yang, A group evidential reasoning approach based on expert reliability, *European Journal of Operational Research* 246 (3) (2015) 886–893.
- 445 [73] D. Guha, D. Chakraborty, Fuzzy multi attribute group decision making method to achieve consensus under the consideration of degrees of confidence of experts opinions, *Computers & Industrial Engineering* 60 (4) (2011) 493–504.

- [74] S. H. Kim, S. H. Choi, J. K. Kim, An interactive procedure for multiple  
450 attribute group decision making with incomplete information: Range-based  
approach, *European Journal of Operational Research* 118 (1) (1999) 139–  
152.
- [75] B. Sun, W. Ma, An approach to consensus measurement of linguistic pref-  
erence relations in multi-attribute group decision making and application,  
455 *Omega* 51 (2015) 83–92.
- [76] L. Roselló, M. Sánchez, N. Agell, F. Prats, F. A. Mazaira, Using consensus  
and distances between generalized multi-attribute linguistic assessments for  
group decision-making, *Information Fusion* 17 (2014) 83–92.
- [77] R. O. Parreiras, P. Y. Ekel, J. S. C. Martini, R. M. Palhares, A flexible  
460 consensus scheme for multicriteria group decision making under linguistic  
assessments, *Information Sciences* 180 (7) (2010) 1075–1089.
- [78] Z. Xu, An automatic approach to reaching consensus in multiple attribute  
group decision making, *Computers & Industrial Engineering* 56 (4) (2009)  
1369–1374.
- 465 [79] J. Xu, Z. Wu, A discrete consensus support model for multiple attribute  
group decision making, *Knowledge-Based Systems* 24 (8) (2011) 1196–1202.
- [80] J. Xu, Z. Wu, Y. Zhang, A consensus based method for multi-criteria group  
decision making under uncertain linguistic setting, *Group Decision and  
Negotiation* 23 (1) (2014) 127–148.
- 470 [81] S. Alonso, E. Herrera-Viedma, F. Chiclana, F. Herrera, A web based con-  
sensus support system for group decision making problems and incomplete  
preferences, *Information Sciences* 180 (23) (2010) 4477–4495.
- [82] S. Alonso, I. J. Pérez, F. J. Cabrerizo, E. Herrera-Viedma, A linguistic  
consensus model for Web 2.0 communities, *Applied Soft Computing Journal*  
475 13 (1) (2013) 149–157.

- [83] I. J. Pérez, F. J. Cabrerizo, E. Herrera-Viedma, A mobile decision support system for dynamic group decision-making problems, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans* 40 (6) (2010) 1244–1256.
- 480 [84] I. J. Pérez, F. J. Cabrerizo, E. Herrera-Viedma, Group decision making problems in a linguistic and dynamic context, *Expert Systems with Applications* 38 (3) (2011) 1675–1688.
- [85] J. Kacprzyk, S. Zadrożny, Soft computing and web intelligence for supporting consensus reaching, *Soft Computing* 14 (8) (2010) 833–846.
- 485 [86] S. Zadrożny, J. Kacprzyk, An internet-based group decision and consensus reaching support system, in: *Applied decision support with soft computing*, Springer, 2003, pp. 263–276.
- [87] I. Palomares, F. J. Estrella, L. Martínez, F. Herrera, Consensus under a fuzzy context: Taxonomy, analysis framework AFRYCA and experimental  
490 case of study, *Information Fusion* 20 (1) (2014) 252–271.
- [88] S. Hartmann, C. Martini, J. Sprenger, Consensual decision-making among epistemic peers, *Episteme* 6 (2) (2009) 110–129.
- [89] N. H. Kamis, F. Chiclana, J. Levesley, An influence-driven feedback system for preference similarity network clustering based consensus group decision  
495 making model, *Information Fusion* 52 (2019) 257–267.
- [90] R. Rodríguez, I. Palomares, L. Martínez, Attitude-based consensus model for heterogeneous group decision making, in: *Knowledge Engineering and Management*, Springer, 2014, pp. 279–290.
- 500 [91] F. J. Quesada, I. Palomares, L. Martínez, Using computing with words for managing non-cooperative behaviors in large scale group decision making, in: *Granular Computing and Decision-Making*, Springer, 2015, pp. 97–121.

- [92] M. Aria, C. Cuccurullo, bibliometrix: An r-tool for comprehensive science mapping analysis, *Journal of Informetrics* 11 (4) (2017) 959–975.
- [93] M. J. Cobo, A. G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma, F. Herrera, An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the fuzzy sets theory field, *Journal of Informetrics* 5 (1) (2011) 146–166.
- [94] E. Garfield, Historiographic mapping of knowledge domains literature, *Journal of Information Science* 30 (2) (2004) 119–145.
- [95] J. Kacprzyk, Group decision making with a fuzzy linguistic majority, *Fuzzy sets and systems* 18 (2) (1986) 105–118.
- [96] G. Bordogna, M. Fedrizzi, G. Pasi, A linguistic modeling of consensus in group decision making based on OWA operators, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A:Systems and Humans*. 27 (1) (1997) 126–132.



---

**Influence Analysis in Consensus Search - A Multi Criteria Group Decision Making Approach in Environmental Management**

## Influence Analysis in Consensus Search — A Multi Criteria Group Decision Making Approach in Environmental Management

Jorge Ivan Romero-Gelvez

*Department of Industrial and Systems Engineering  
Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia  
joiromeroge@unal.edu.co*

Monica Garcia-Melon\*

*INGENIO (CSIC-UPV), Universitat Politècnica de València  
Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, Spain  
mgarciam@dpi.upv.es*

Published 14 July 2016

The environmental decision problems often are divisive, even in a technical realm, decision makers with strong personalities influence outcomes. The purpose of this study is to define and quantify the factors that affect the conservation objectives of a national natural park located in Colombia, South America adding the judgments of six decision makers with different knowledge (every decision maker is also a stakeholder representative). This paper uses a hybrid multiple criteria group decision-making model (MCDM), combining the social network analysis (SNA), analytic hierarchy process (AHP) and similarity measures to solve the consensus and anchoring problem among environmental decision makers. The SNA technique is used to build an influential network relation map among decision makers and to obtain their weights for applying a weighted AHP. Then, the final decision matrices for every decision maker are compared between them in order to identify the consensus level of the problem.

*Keywords:* Group decision-making; stakeholder analysis; consensus; MCDM; AHP; SNA.

MSC 1991: 22E46, 53C35, 57S20.

### 1. Introduction

Shared responsibility for the protection of nature demands common solutions to existing problems. Environmental management decisions have been the cause of many debates and deep disagreements underlying the multifaceted nature of most environmental problems. Environmental management takes place at many levels (local communities, city, state) and involves a large number of stakeholders (such as

\*Corresponding author.

landowners, entrepreneurs, urban planners, farmers, etc.) with conflicting interests.<sup>1</sup> The complexity of environmental problems requires transparent and flexible decision-making processes that integrate different areas of knowledge and values.<sup>2</sup> Therefore, we can affirm that environmental planning is a multi-criteria and multi-stakeholder problem by nature.<sup>3,4</sup>

Multicriteria Decision Aid (MCDA) techniques are suitable for evaluating complex, multistakeholder uncertain problems.<sup>5</sup> Several authors have already introduced the use of MCDA techniques for Sustainability Assessment.<sup>6</sup> Many of them focused on the use of the technique Analytic Hierarchy Process (AHP) or Electre and Promethee class methods.<sup>7-9</sup> From all of them, the AHP method proposed by Ref. 10 has been chosen because it provides an easy-to-understand framework for decision-making or evaluation problems and also it presents its strengths when working in scenarios with scarce information. AHP has also the flexibility to combine quantitative and qualitative factors, to handle different groups of actors, to combine the opinions expressed by many experts, and can help in stakeholder analysis.

The purpose of stakeholder analysis is to understand their behavior, expectations, relationships and influences or resources they can bring to the decision-making process.<sup>11</sup> Reference 12 suggest that the increasing use of stakeholder analysis in natural resources management reflects the recognition that stakeholders can and should influence environmental decision-making processes. This approach is being promoted by the EU (Directive 2003/35/EC2), and by the U.S. the Environmental Protection Agency which promote citizen participation in environmental decision-making processes and have programs that evaluate their participation.<sup>13</sup>

Decision makers recognize the need to understand who is affected by the decisions and actions they take and who has the power to influence their outcome.<sup>14</sup> Thus, it is helpful to consider the importance and influence of stakeholders. According to Ref. 15 a group decision is a product of member preferences and the processes used by the group to reach consensus.<sup>16</sup> These processes are shaped by a variety of factors, including member expertise,<sup>17</sup> confidence<sup>18</sup> and extroversion.<sup>19</sup> These two above mentioned concepts, influence and consensus, are relevant for decision-making processes in which individual power distribution does affect the procedure to reach the final result, as is the case of environmental management. For that, to help environmental managers to solve participatory decision-making problems, we propose a model that combines multi criteria decision analysis and participatory procedures. This will be done by combining the use of social network analysis (SNA) and consensus matrices for the analysis of individual influences of participants and AHP for the decision-making problem.

The remaining of the paper is as follows: in Sec. 2 a literature review is presented and in Sec. 3 the methodology is presented. In Sec. 4, the application of the proposed methodology to the case study is presented with a broad description of the obtained results. Finally in Sec. 5 the authors highlight the main conclusions of the work.

## 2. Literature Review

As explained in the above section, in this paper we will propose a model that combines the use of SNA and consensus matrices to assess influences for all the stakeholders that will participate in the AHP environmental decision-making problem. Since we propose the combination of these two different techniques in this section we will carry out a literature review of both of them in order to justify their goodness.

### 2.1. Stakeholders influence and SNA

According to Ref. 20 environmental issues often are divisive, even in a technical realm. Reference 21 argued that strong personalities influence outcomes. Participants advocate positions, views are anchored, change is resisted, people hold covert opinions that are not explained and there is pressure to conform.

Several approaches have been proposed to investigate the relationships among stakeholders, like power versus interest grids, the urgency-power-legitimacy model<sup>22</sup> interrelationship diagram,<sup>23</sup> or actor-linkage matrices.<sup>24</sup> However, these techniques do not allow determining an individual value of the influence of each actor in a decision-making process.

Recently some authors<sup>25</sup> have proposed SNA<sup>26</sup> to calculate individual influence and trust for each actor. But as far as the authors know, these influence index have never been used before as individual weights for the stakeholders within a decision-making process. SNA is based on the graph theory, allows measuring the strength of ties (flows of information or influence) between nodes (stakeholders) in order to obtain different values of centrality, prestige and power for each of them. Centrality is the most commonly used index to analyze influence of individuals. We have chosen the nodes closeness centrality as the most appropriate SNA indicators to assess the influence of the stakeholders.<sup>27</sup> It indicates how close a node is to other nodes in the network (geodesic distance). An actor is central if he/she can interact fast with all other actors. The actors who have a high closeness index have many direct relationships with several members of the network. The higher the closeness centrality of a node, the faster he is able to interact with other actors. There are many closeness measures, we use the Sabidussi measure.<sup>28</sup> Closeness is calculated as follows:

$$C'_c(n_i) = \frac{g - 1}{\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)}. \quad (2.1)$$

With

$d(n_i, n_j)$  is the distance between actor  $n_i$  and actor  $n_j$ ,  
 $g$  is the total number of actors in the network.

The Sabidussi closeness measure can be viewed as the inverse average distance between the actor (stakeholder in our problem)  $i$  and all other actors. Closeness is an inverse measure of centrality in the sense that large numbers indicate that a node is highly peripheral, while small numbers indicate a node is more central. A lower

closeness index of an actor shows a higher importance of this actor. We represent the importance index as the weight  $W_j$  of each actor by normalizing an opposite measure  $I$ , as follows:

$$I = 1/C'_c(n_i), \quad (2.2)$$

$$W_j = \frac{I_j}{\sum_j I_j}. \quad (2.3)$$

Being  $I$  the importance of actor  $n_i$  represented as the influence over all actors and  $W_j$  is the weight for each actor. In order to determine the degree of influence or importance of the actors a Social Network of the actors will be built and then each actor's closeness centrality in this particular network will be measured. UCINET 6<sup>29</sup> a specialized software tool for SNA, will be used. To build the network, a questionnaire will be designed in which each stakeholder will be asked about his/her opinion on the level of agreement with the rest of the stakeholders.

## 2.2. Consensus reaching and consensus degree

A consensus reaching process in a Group Decision Making (GDM) problem is an iterative process composed by several discussion rounds in which experts are expected to modify their preferences according to the advice given by a facilitator.

According to Refs. 30, 31 and 32 it is important to develop consensus models that take into account the weights of the experts (their importance) when adding their preferences but also advising how to change their preferences.

The search for consensus as expressed by Ref. 33 presents challenges and open questions to be addressed in the following areas: (1) counseling, (2) models of consensus based on trust, (3) visualization and verbalization of the process, (4) the importance of the experts, (5) dynamic contexts of decision and (6) persuasion.

In this paper, we will analyze consensus from the perspective of areas 4 and 6:

- Importance of experts: According to Ref. 33 in GDM, there are many situations where the expert knowledge is not equally important.<sup>34</sup> To model these situations the most common approach in the literature involves assigning a weight to the experts in the group.
- Persuasion (social influence): One of the tasks of the facilitator in consensus decision-making processes is to give advice on how to change experts' opinions in order to increase the level of consensus.<sup>33</sup>

In our proposal we will use the SNA to assess the degree of importance of the experts, as explained in Sec. 2.1, and the consensus index proposed by Ref. 35 based on the measure of similarity for every decision matrix of all participants, as explained follows.

For each pair of experts  $(ek, et)$  ( $k = 1, \dots, m - 1, l = k + 1, \dots, m$ ) a similarity matrix  $SM_{ij}^{kl} = (sm_{ij}^{kl})$  is obtained comparing the decision matrix of every decision

maker  $E_{ij}^k$  with the rest of them  $E_{ij}^{k+1}, \dots, E_{ij}^l$  as follows.

$$\text{sm}_{ij}^{kl} = 1 - |p_{ij}^k - p_{ij}^l|. \quad (2.4)$$

With

$p_{ij}$  is the value of all the alternatives  $A_i$  against the criterion  $C_j$ , that is, the eigenvector, for each decision maker.

A consensus matrix,  $\text{CM} = (\text{cm}_{ij})$ , is calculated by aggregating all the similarity matrices using the arithmetic mean as the aggregation function

$$\text{cm}_{ij} = \phi(\text{sm}_{ij}^{kl}, k = 1, \dots, m-1, l = k+1, \dots, m). \quad (2.5)$$

With

$\text{sm}_{ij}$  is the similarity matrix for every decision maker.

Once the consensus matrix is computed, the consensus degrees are obtained at three different levels.

- (a) **Level 1** — Consensus degree on pair of alternatives. The consensus index of an expert to the group of experts on the alternative  $x_i$  under criterion  $C_j$  is

$$CE_{ij}^h = \text{cm}_{ij}. \quad (2.6)$$

- (b) **Level 2** — Consensus degree on alternatives. The consensus index of an expert to the group of experts on the alternative  $x_i$

$$\text{CA}_i^h = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n CE_{ij}^h. \quad (2.7)$$

- (c) **Level 3** — Consensus index on the decision matrix

$$\text{CI}^h = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \text{CA}_i^h. \quad (2.8)$$

With,  $m$  is the number of criteria for every decision matrix.

Once the consensus index,  $\text{CI}$ , is obtained, it is compared with the minimum required consensus level,  $\text{CL} \in [0, 1]$ , which will depend on the particular problem we are dealing with.  $\text{CL}$  is a threshold value predefined by the moderator and may be different for each problem, a greater  $\text{CI}$  indicates more consensus. When  $\text{CI} \geq \text{CL}$ , the consensus model finishes and the selection process is applied to obtain the solution by calculating the weighted (by stakeholder) aggregated decision matrix.

Otherwise, we need to give feedback to the decision makers and a new consensus round is applied. Additionally, the consensus model should avoid situations in which the global consensus measure may not converge to the minimum required consensus level. Based on Ref. 36 six types of consensus for the consensus index are defined as follows:

- None = 0–0.17,
- Very Low = 0.17–0.33,

- Low = 0.33–0.5,
- Medium = 0.5–0.67,
- High = 0.67–0.83,
- Very High = 0.83–1.0.

### 3. Methodology

In this paper, we will propose a methodology based on a combination of CI, SNA and AHP techniques to help the environmental managers to define and quantify the factors that affect the conservation objectives, taking into account the views of the various interested and affected stakeholders. This work provides a novelty, which is to use the SNA to identify the most influential actors. Thus, a numerical influence can be calculated and this information can be considered for the final aggregation of the alternatives priorities in the evaluation model.

The steps followed in the methodology are shown in Fig. 1.

The methodology will be applied to a particular environmental case study: to help the managers of the Cocuy National Park (Colombia) to define and quantify the factors that affect the conservation objectives of the national natural park.

A more detailed explanation of the methodology will be presented during the description of the case study.

### 4. Case Study — El Cocuy Natural National Park

The Sierra Nevada del Cocuy lies in the eastern part of Colombia, between lats.  $6^{\circ}20'N$  and  $6^{\circ}35'N$ . It forms the highest part of the Colombian Cordillera Oriental and trends nearly north-south (Fig. 2). That part which stands above the

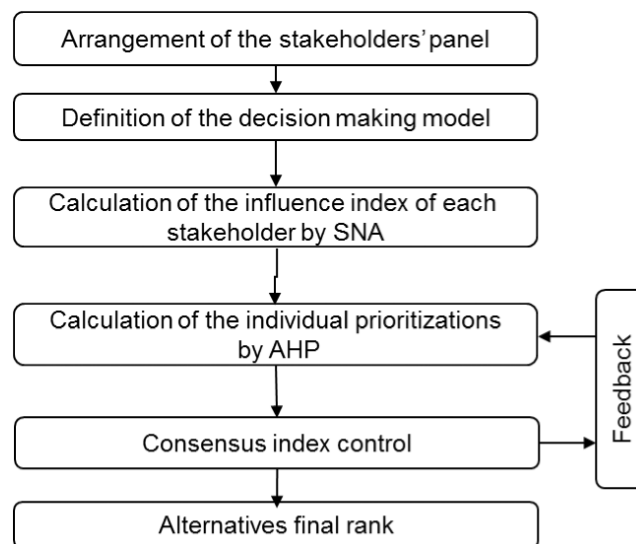


Fig. 1. Methodological approach.



Fig. 2. Map of El Cocuy National Natural Park.

snowline (that is, above an altitude of about 4600 m measured on the western slope) has a length of about 33 km and reaches an extreme altitude of about 5490 m in the Alto Ritacuva, a peak near its northern end. The highest peak near the southern end is Pan de Azúcar, with an altitude of about 5150 m. The area of the divide is covered with a nearly continuous chain of ice caps, 1 to 2 km in width, and small outlying snowfields. The sierra is part of a 3000 km<sup>2</sup> National Park established in 1970.

There are several unsustainability factors that need to be assessed by the managers of the park. Regarding the environmental problems they have to face, some of them are directly related to the production system of local farmers, with the cutting and burning of forests in order to open pastures and sustain livestock, which has deteriorated the soil generating compaction, and does not allow development of agriculture anymore. Also, the destruction of natural habitat and indiscriminate hunting has decreased biodiversity, and many major water sources have been dried.

Regarding the social problems, it is very common for families to present a low level of food consumption, along with a dependence on *jornales* (work paid daily) due to poor family labor. The law enforcement is another factor that does not allow property owners to invest and work in their production units, for fear of being blackmailed or stolen.

In the technical-productive part another factor of unsustainability occurs because there is insufficient supply of food for cattle, resorting to over-grazing and gradual clearing of forests for the expansion of pastures for livestock. Many farms have



sustainable practices such as intercropping and minimal use of pesticides in production of food crop. In few other farms, they have minor species, fish ponds and beekeeping products as supplement diet.

The Natural Park needs to tackle all the above mentioned problems by linking the largest number of communities and organizations (stakeholders) to implement recovery programs, boosting sustainable urban and regional development. Also, they need to promote public participation processes for making investment decisions in order to contribute to the environmental sustainability of each stakeholder and seek to articulate participatory management processes (co-management programs in protected areas) that are more satisfactory in terms of decision-making results.

#### **4.1. Arrangement of the stakeholders panel**

The institutions and organizations involved in the problem are identified as having responsibilities in managing the park or as interest groups. These are:

- U'was community: Indigenous Uwa also called *tunebos* have a social, political and ecological system that allows them to communicate with groups in other distant regions. They are located in high mountains, hills and plains reliefs of between 400 and 5300 m, covering the departments of Boyaca, Arauca, Norte de Santander, Santander and Casanare uwa live about 700 families along a territory of 450,000 hectares. They are dedicated to livestock and subsistence crops influenced by farmer tradition. Their main crop is corn.
- Tourists: The natural park has been the destination of climbers, hikers and tourists in general who feel attracted by the unique beauty of its landscapes. However, this activity is disorganized, because there is no control by the Parks Unit.
- Academic experts: Environmental experts with knowledge about the national natural park of El Cocuy.
- International tourists: Every year the park is visited by international climbers and tourists. Their point of view is different than the national tourists.
- Farmers and Livestock owners: There are farmers in high and low altitudes near the park area. They use the land for survival crops, practice extensive cattle ranching near wasteland areas. They also burn the wasteland in the summer, to prepare the ground for cattle.
- Park rangers: Responsible for managing the conservation and protection of the protected areas.

#### **4.2. Construction of the decision-making model**

The decision problem will be modeled with AHP method. In order to identify the clusters of criteria and alternatives, we worked with the stakeholders panel, since they are the ones who are interested in solving the problems of the park.

The goal of the decision-making problem is the following: establish a prioritization between the problems faced by the park managers according to the strategic objectives of the park.

#### 4.2.1. *Alternatives*

After discussing all the matters, the stakeholder's panel proposed the following list of the eight main problems to be analyzed and prioritized:

- Objective 1: Socio Political fragmentation and loss of traditional knowledge of Uwa community.
- Objective 2: Logging, burning and clearing of vegetation to maintain pastures and crops between the Andean forests in the eastern sector.
- Objective 3: Infrastructure without environmental impact studies and mitigation measures (deposits, canals, bridges, roads).
- Objective 4: Extensive grazing on the park.
- Objective 5: Clogging and rapid drying of peatlands, lakes and springs.
- Objective 6: Tourism poorly managed in the park.

#### 4.2.2. *Criteria*

The following criteria were chosen to prioritize problems. They are the conservation goals of the natural park:

- Keep the eco-systemic connectivity of forest areas and wilderness.
- Preserve habitats and populations of endemic species.
- Keep the water supply that feeds the river basins.
- Protect the Uwa territory that overlaps with the Park.
- Protect outstanding scenic values.

### 4.3. *Calculate the influence index for every stakeholder*

Calculate the influence index for every stakeholder, by asking the decision makers the following question<sup>37</sup>

“Q1. *Which stakeholder do you think may agree with your opinion regarding the ranking of the goals of Cocuy National Park?*”.

Each decision maker gives his/her opinion and matrix  $D$  is built according to the scale:

- No agreement with your opinion = 0,
- Low level of agreement with your opinion = 1,
- Medium level of agreement with your opinion = 2,
- High level of agreement with your opinion = 3,
- Very high level of agreement with your opinion = 4.

$$\begin{array}{l}
 S_1 \text{ Uwas} \\
 S_2 \text{ tourist} \\
 S_3 \text{ academic} \\
 S_4 \text{ tourist int} \\
 S_5 \text{ farmers} \\
 S_6 \text{ park rangers}
 \end{array}
 \rightarrow D = \begin{array}{l}
 S_1 \\
 S_2 \\
 S_3 \\
 S_4 \\
 S_5 \\
 S_6
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 0 & 2 & 2 & 1 & 2 & 3 \\
 1 & 0 & 2 & 2 & 1 & 3 \\
 2 & 3 & 0 & 2 & 3 & 2 \\
 2 & 3 & 0 & 0 & 1 & 2 \\
 3 & 2 & 2 & 0 & 0 & 1 \\
 3 & 2 & 3 & 2 & 2 & 0
 \end{pmatrix}.$$

Once matrix  $D$  is obtained, an influence network is obtained by means of software UCINET® as seen in Fig. 3. This influence network shows the connections between every stakeholder with the rest of them. A thick line shows a greater influence between two stakeholders, the red path shows a strong connection between the stakeholder and the rest of them, on the other hand the blue path shows a weak connection between the stakeholders which means weak influence between them.

The SNA closeness index for every stakeholder  $C'_c(n_i)$ , the importance of every stakeholder  $I_j$  and their weights  $W_j$  are obtained using Eqs. (2.1)–(2.3) as follows:

$$\begin{array}{l}
 S_1 \\
 S_2 \\
 S_3 \\
 S_4 \\
 S_5 \\
 S_6
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 0.455 \\
 0.500 \\
 0.455 \\
 0.714 \\
 0.833 \\
 0.357
 \end{pmatrix}
 \rightarrow I_j = \begin{array}{l}
 S_1 \\
 S_2 \\
 S_3 \\
 S_4 \\
 S_5 \\
 S_6
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 2.20 \\
 2.00 \\
 2.20 \\
 1.40 \\
 1.20 \\
 2.80
 \end{pmatrix}
 \rightarrow W_j = \begin{array}{l}
 S_1 \\
 S_2 \\
 S_3 \\
 S_4 \\
 S_5 \\
 S_6
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 0.18644068 \\
 0.16949153 \\
 0.18644068 \\
 0.11864407 \\
 0.10169492 \\
 0.23728814
 \end{pmatrix}.$$

These Centrality indices allow us to know which stakeholders are more influential with respect to others. They show that there is one stakeholder,  $S_6$  (park rangers),

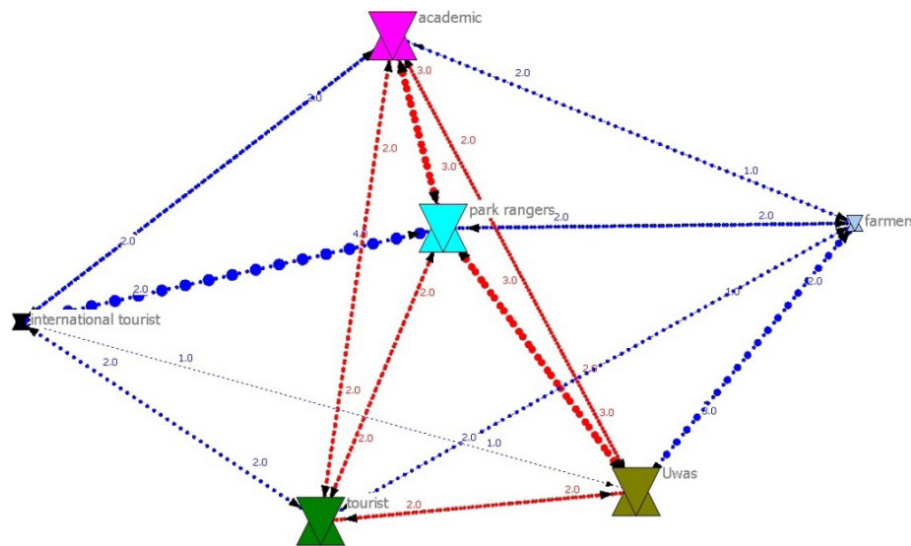


Fig. 3. (Color online) Network of influence relationship between stakeholders and weights for stakeholders; developed by using UCINET® from the matrix  $D$ .

whom the rest of them consider more influential when trying to solve management problems of the park. Next in importance would be both  $S_1$  (Uwas) and  $S_3$  (Academics). At the other end, we have  $S_3$  (farmers) who show the lowest influence on the group.

These individual influence indices will be used to weigh the stakeholders when aggregating their priorities with the geometric mean as described in Sec. 5.2.

#### 4.4. Calculation of the individual prioritizations by AHP

In this step, we show the calculation of the individual prioritization by using AHP. In Fig. 4, we can see the structure of the model presented.

After having obtained the individual prioritization, we use the subset  $W_j$  to assign different weights to the decision makers and that way we calculate the final prioritization of the park problems for the whole group of decision makers with the weighted AHP.<sup>38,39</sup>

The pairwise comparison between objectives for each decision maker gives us the matrix Cr, where every column is an eigenvector that represents the importance of every objective for each decision maker.

Final prioritization of the objectives with AHP for each stakeholder is shown in Table 1.

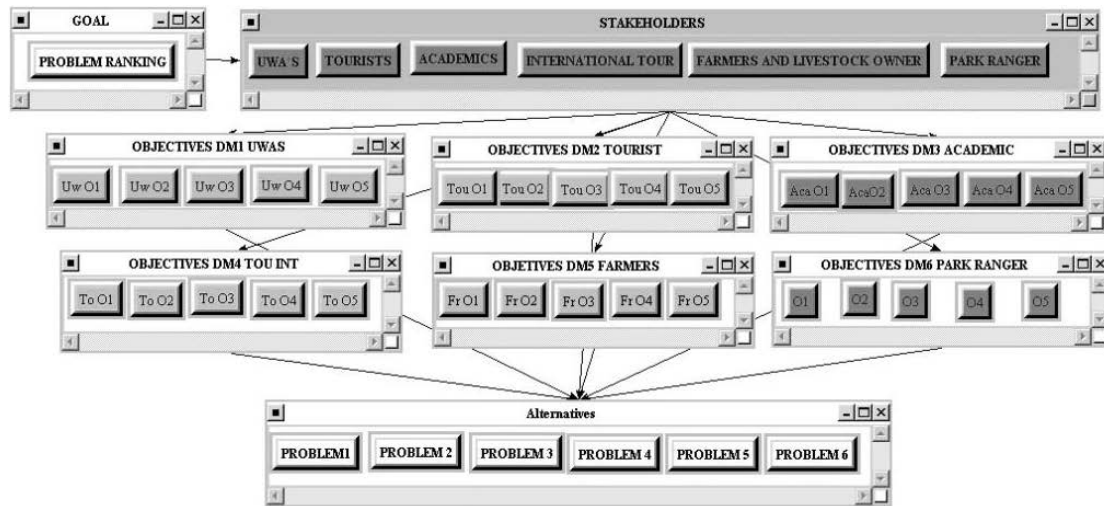


Fig. 4. Hierarchy structure of the problem with six decision makers — Superdecisions ® software.

Table 1. CR matrix — Final prioritization of the objectives with AHP for each stakeholder.

Objectives	S1 Uwas	S2 Tourist	S3 Academic	S4 Tourist int	S5 Farmers	S6 Park rangers
Objective 1	0.0557	0.0758	0.0753	0.1032	0.1109	0.2153
Objective 2	0.5357	0.4813	0.0889	0.1032	0.3567	0.2521
Objective 3	0.2589	0.1929	0.6603	0.3618	0.4144	0.2521
Objective 4	0.1253	0.0419	0.0337	0.0699	0.0440	0.0467
Objective 5	0.0235	0.2081	0.1418	0.3618	0.0740	0.2337

The following decision matrices  $E_{ij}^k$  show the given values to each environmental objective (alternatives  $i$  in rows, which was presented in Sec. 4.2.1), against every conservation goal (criteria  $j$  in columns, which was presented in Sec. 4.2.2) for each stakeholder  $k$ . Every column of the matrices  $E_{ij}^k$  is an eigenvector result of the pairwise analysis between every environmental problem.

$$E^1 = \begin{pmatrix} 0.0181 & 0.3546 & 0.0212 & 0.5145 & 0.0214 \\ 0.1106 & 0.0708 & 0.1109 & 0.0277 & 0.1518 \\ 0.2803 & 0.1771 & 0.3800 & 0.0333 & 0.4514 \\ 0.0829 & 0.0245 & 0.1068 & 0.0499 & 0.0696 \\ 0.1544 & 0.3254 & 0.2903 & 0.2470 & 0.2680 \\ 0.3538 & 0.0476 & 0.0908 & 0.1275 & 0.0379 \end{pmatrix},$$

*S1-Uwas*

$$E^2 = \begin{pmatrix} 0.0546 & 0.0268 & 0.0263 & 0.2703 & 0.0268 \\ 0.2227 & 0.1874 & 0.0481 & 0.0310 & 0.1874 \\ 0.1086 & 0.2042 & 0.3407 & 0.2703 & 0.2042 \\ 0.0752 & 0.0969 & 0.1010 & 0.1088 & 0.0969 \\ 0.0636 & 0.0528 & 0.3755 & 0.0725 & 0.0528 \\ 0.4753 & 0.4319 & 0.1083 & 0.2471 & 0.4319 \end{pmatrix},$$

*S2-Tourist-1*

$$E^3 = \begin{pmatrix} 0.0232 & 0.0302 & 0.0257 & 0.4134 & 0.0260 \\ 0.3239 & 0.2426 & 0.1225 & 0.1283 & 0.2039 \\ 0.0996 & 0.1668 & 0.1083 & 0.1996 & 0.2260 \\ 0.3546 & 0.2426 & 0.1727 & 0.1160 & 0.2260 \\ 0.1415 & 0.2426 & 0.5143 & 0.1160 & 0.2480 \\ 0.0572 & 0.0752 & 0.0564 & 0.0267 & 0.0701 \end{pmatrix},$$

*S3-Academic*

$$E^4 = \begin{pmatrix} 0.0237 & 0.0245 & 0.0257 & 0.1514 & 0.0312 \\ 0.1616 & 0.2402 & 0.2039 & 0.1893 & 0.1686 \\ 0.0509 & 0.0449 & 0.0675 & 0.0363 & 0.0777 \\ 0.1570 & 0.1462 & 0.1640 & 0.0992 & 0.2554 \\ 0.5351 & 0.4486 & 0.4954 & 0.4744 & 0.4097 \\ 0.0718 & 0.0955 & 0.0435 & 0.0494 & 0.0574 \end{pmatrix},$$

*S4-Tourist-int*

$$E^5 = \begin{pmatrix} 0.0371 & 0.0375 & 0.0236 & 0.3833 & 0.0304 \\ 0.3829 & 0.1461 & 0.1179 & 0.1673 & 0.1435 \\ 0.1659 & 0.2774 & 0.1839 & 0.0645 & 0.1535 \\ 0.0843 & 0.1348 & 0.0723 & 0.1309 & 0.1535 \\ 0.2419 & 0.2581 & 0.5396 & 0.2089 & 0.3657 \\ 0.0879 & 0.1461 & 0.0626 & 0.0450 & 0.1535 \end{pmatrix},$$

*S5-Farmers-and-livestock-owners*

$$E^6 = \begin{pmatrix} 0.0475 & 0.0255 & 0.0299 & 0.2366 & 0.0235 \\ 0.2267 & 0.1552 & 0.1318 & 0.1844 & 0.1832 \\ 0.0915 & 0.1133 & 0.0940 & 0.0900 & 0.0724 \\ 0.0929 & 0.2450 & 0.1306 & 0.0710 & 0.1707 \\ 0.4984 & 0.3976 & 0.5699 & 0.3838 & 0.4813 \\ 0.0429 & 0.0634 & 0.0438 & 0.0342 & 0.0689 \end{pmatrix}.$$

S6-Park-rangers

A graphical representation of the prioritization of all the environmental problems given by each decision maker, which was presented in Table 1, can also be seen in Fig. 5.

Analyzing these result we can observe that there are four DMs who show similar priorities, that is, their ranking of park problems is similar. They consider that *Clogging and rapid drying of peatlands, lakes and springs* should be considered the most important problem to be solved. They are the farmers, park rangers, academics and one of the tourists. However, we can observe that one of the DMs, namely S2 *national tourists* show very different prioritization profiles. For example, according to S2 *national tourists* the most important problem they should focus on is *Tourism poorly managed in the park*.

These results show that stakeholders have conflicting interests and each of them has solved the decision-making problem according to his own interests.

This is the usual situation when solving environmental management problems and when trying to give voice to all the involved stakeholders. Therefore, the use of the consensus index step is highly recommended in this particular situation.

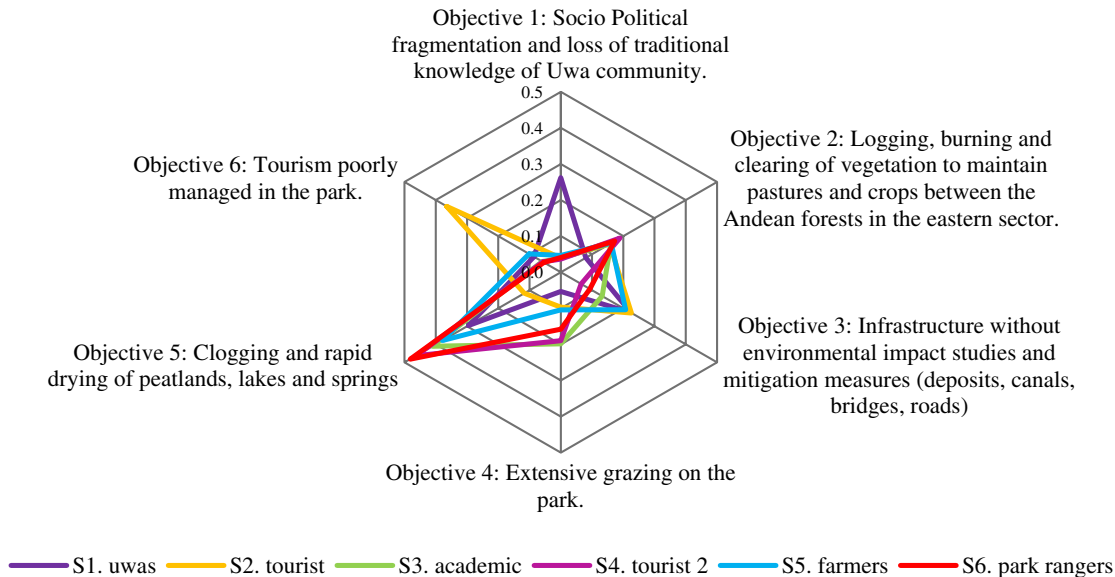


Fig. 5. Problem ranking by decision maker.

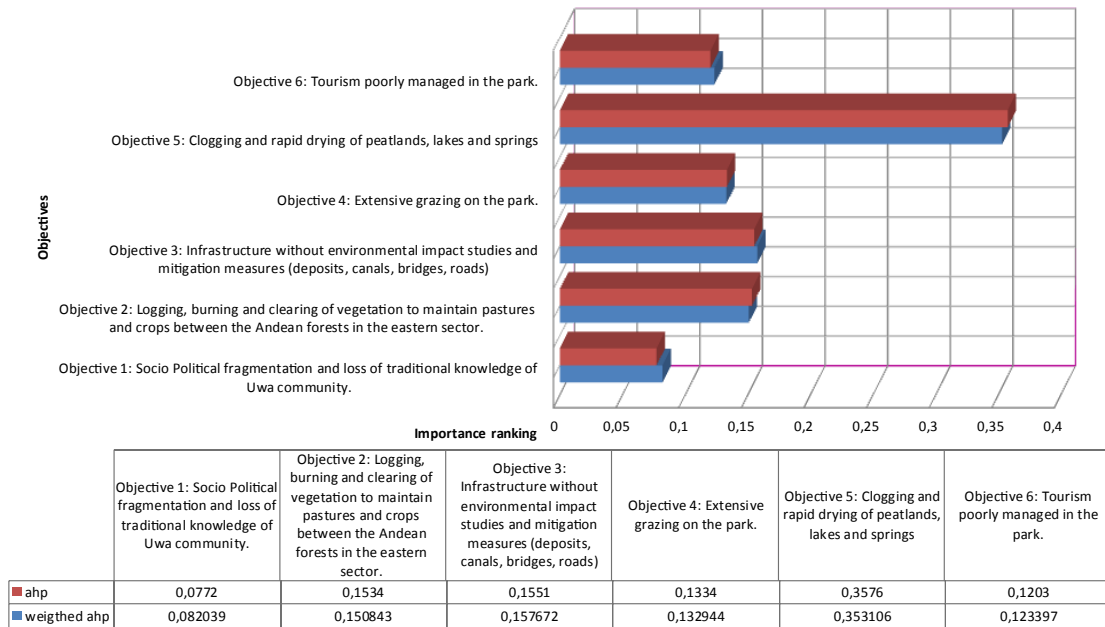


Fig. 6. Final ranking of environmental problems (aggregated by geometric mean).

We have also carried out a comparison between the final group prioritization for the whole problem both using the same importance for every DM with simple AHP and using the weighted AHP (by using the weighted geometric mean, as we can see in Eq. (4.1) with the weights  $W_j$  obtained by SNA.

$$a_{ij}^{WGM} = \prod_{k=1}^m (a_{ij}^{(k)})^{a_k}. \tag{4.1}$$

This can be seen in Fig. 6.

In this figure we can observe that there is no much difference between the two results, that is, the weighting of the stakeholders has not changed the final group prioritization of the park environmental problems. This is due to the fact that the most important decision makers have similar opinions.

Next, in Figs. 7–12 we present a sensitivity analysis showing how a weight increment changes the final importance of every problem for each stakeholder.

#### 4.5. Calculate the consensus index and final ranking of alternatives

Finally, we calculate the CI for the problem and show the final consensus ranking for the environmental problems of the national natural park. Also we want to demonstrate that even though the final ranking of the environmental problems does not change with the weighted AHP method, that occurs because the most important (biggest weight or influence) decision makers have similar opinions about the problems we want to measure.

- Objective 1: Socio Political fragmentation and loss of traditional knowledge of Uwa community.
- Objective 2: Logging, burning and clearing of vegetation to maintain pastures and crops between the Andean forests in the eastern sector.
- Objective 3: Infrastructure without environmental impact studies and mitigation measures (deposits, canals, bridges, roads)
- Objective 4: Extensive grazing on the park.
- Objective 5: Clogging and rapid drying of peatlands, lakes and springs
- Objective 6: Tourism poorly managed in the park.

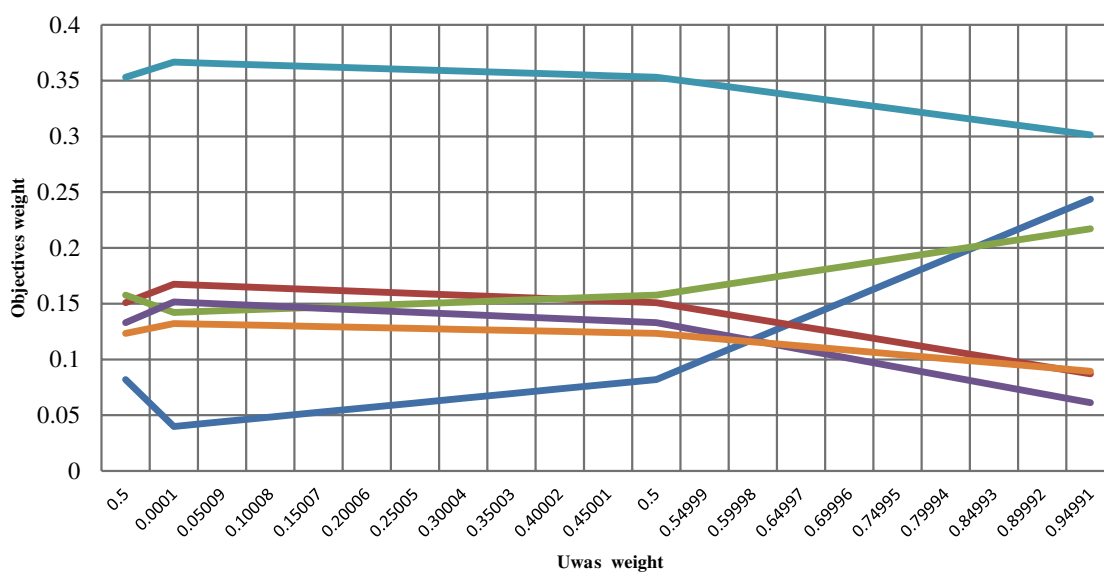


Fig. 7. Uwa weight sensitivity.

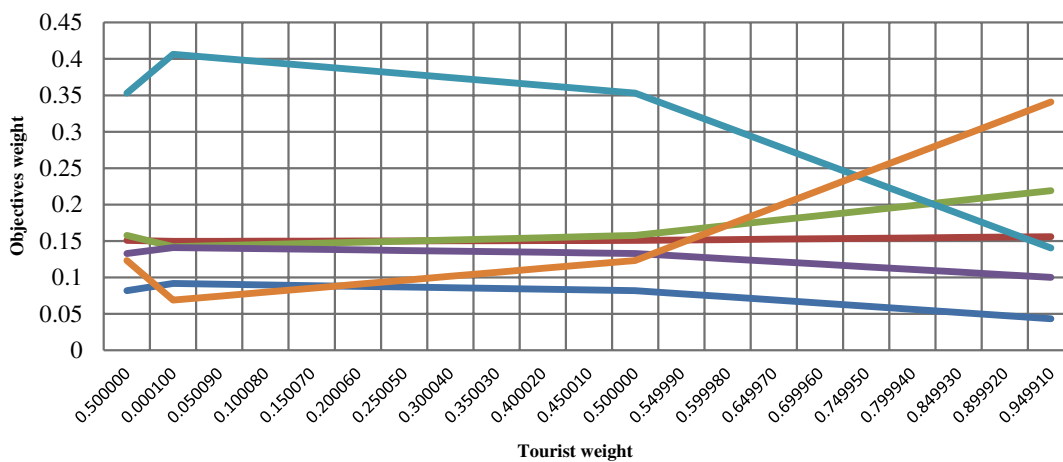


Fig. 8. Tourist weight sensitivity.



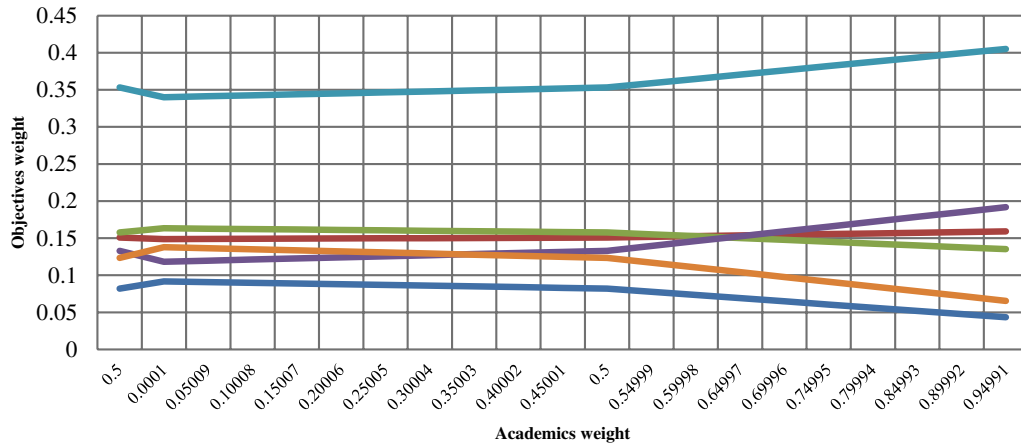


Fig. 9. Academics weight sensitivity.

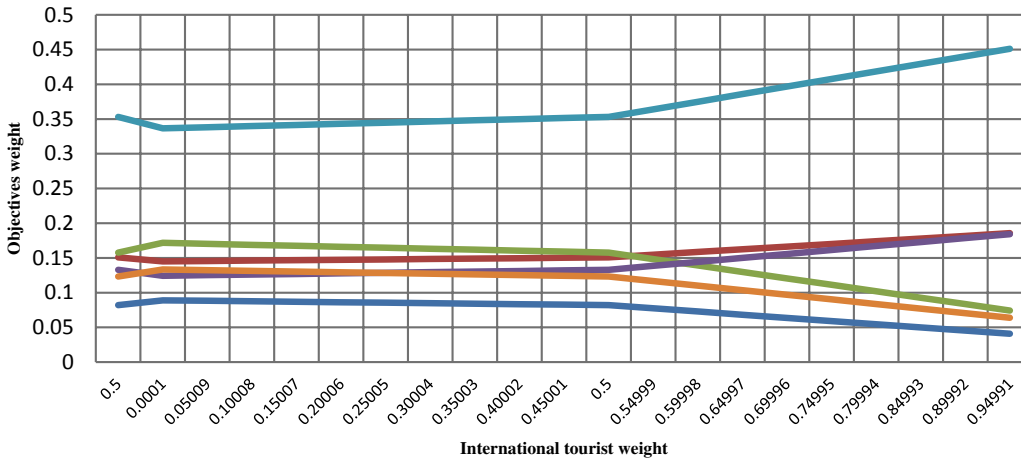


Fig. 10. International tourists weight sensitivity.

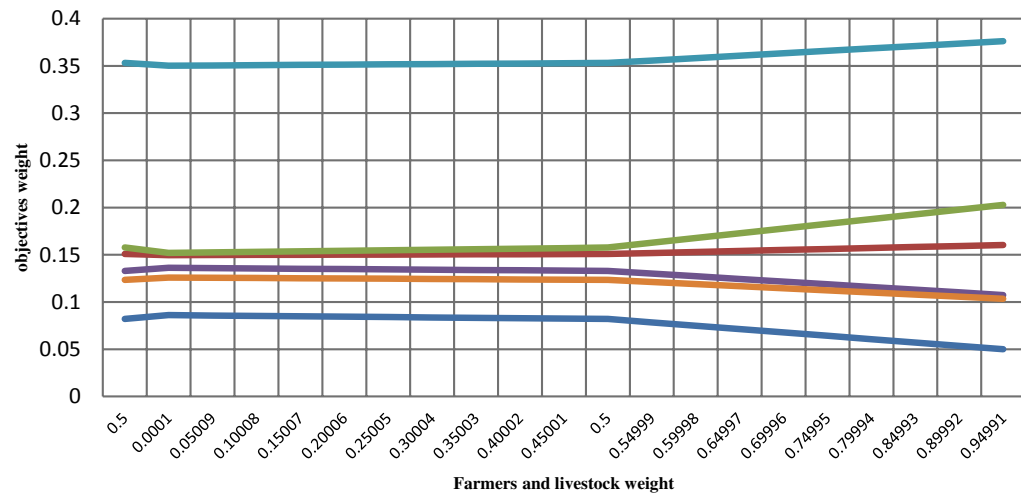


Fig. 11. Farmers and livestock weight sensitivity.

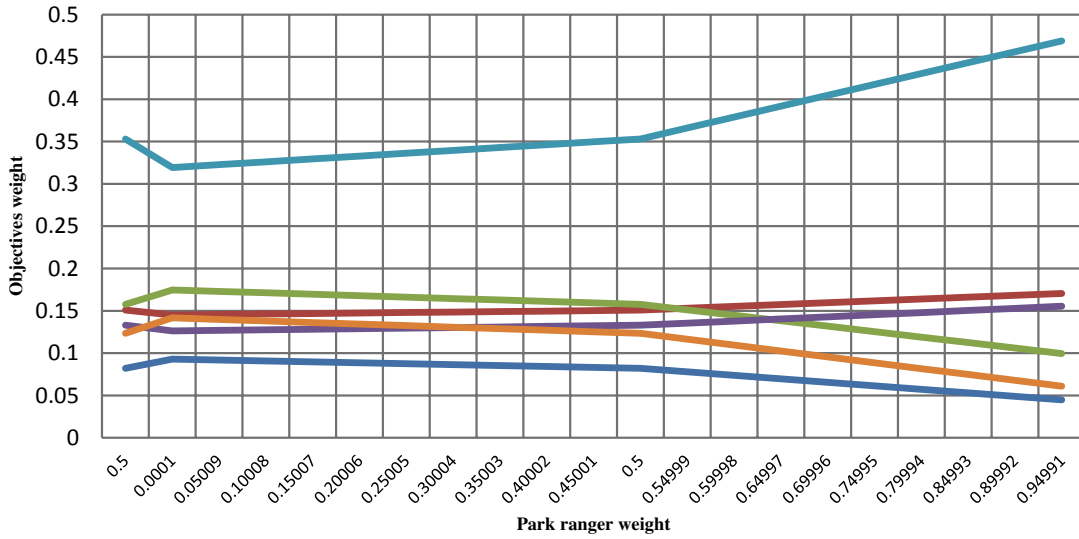


Fig. 12. Park ranger sensitivity.

The consensus between all stakeholders is calculated at the three levels exposed in Sec. 2.2 as follows:

(a) Level 1

At this level the CI of a stakeholder to the group of stakeholders on the alternative  $P_i$  (environmental problems) under criterion Objective $_j$  (objectives of conservation) is calculated according to Eq. (2.6). The consensus degree on a pair of alternatives  $CE_{ij}^h$  for each DM can be seen below.

$$CE^1 = \begin{matrix} & & & & & \text{Uwas} \\ & & & & & \\ P1 & \left( \begin{matrix} 0.9808 & 0.6743 & 0.9949 & 0.7765 & 0.9938 \end{matrix} \right) \\ P2 & \left( \begin{matrix} 0.8471 & 0.8765 & 0.9609 & 0.8877 & 0.9712 \end{matrix} \right) \\ P3 & \left( \begin{matrix} 0.8230 & 0.9333 & 0.7789 & 0.9012 & 0.6954 \end{matrix} \right) \\ P4 & \left( \begin{matrix} 0.9270 & 0.8514 & 0.9626 & 0.9447 & 0.8891 \end{matrix} \right) \\ P5 & \left( \begin{matrix} 0.8168 & 0.8764 & 0.7914 & 0.8584 & 0.8624 \end{matrix} \right) \\ P6 & \left( \begin{matrix} 0.7447 & 0.8852 & 0.9651 & 0.9051 & 0.8815 \end{matrix} \right) \\ & \text{objective 1} & \text{objective 2} & \text{objective 3} & \text{objective 4} & \text{objective 5} \end{matrix},$$

$$CE^2 = \begin{matrix} & & & & & \text{tourist-1} \\ & & & & & \\ P1 & \left( \begin{matrix} 0.9754 & 0.9309 & 0.9975 & 0.8694 & 0.9965 \end{matrix} \right) \\ P2 & \left( \begin{matrix} 0.9123 & 0.9404 & 0.9107 & 0.8903 & 0.9762 \end{matrix} \right) \\ P3 & \left( \begin{matrix} 0.9374 & 0.9224 & 0.8103 & 0.8145 & 0.8844 \end{matrix} \right) \\ P4 & \left( \begin{matrix} 0.9208 & 0.9093 & 0.9602 & 0.9729 & 0.9110 \end{matrix} \right) \\ P5 & \left( \begin{matrix} 0.7494 & 0.7184 & 0.8595 & 0.7865 & 0.6983 \end{matrix} \right) \\ P6 & \left( \begin{matrix} 0.6474 & 0.6537 & 0.9511 & 0.8094 & 0.6457 \end{matrix} \right) \\ & \text{objective 1} & \text{objective 2} & \text{objective 3} & \text{objective 4} & \text{objective 5} \end{matrix},$$

$$CE^3 = \begin{matrix} & & & \text{academic} & & \\ \begin{matrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ P5 \\ P6 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0.9849 & 0.9309 & 0.9977 & 0.8574 & 0.9965 \\ 0.8735 & 0.9174 & 0.9637 & 0.9292 & 0.9630 \\ 0.9374 & 0.9333 & 0.8730 & 0.8710 & 0.8757 \\ 0.7438 & 0.8859 & 0.9422 & 0.9700 & 0.9115 \\ 0.8117 & 0.8702 & 0.9075 & 0.8213 & 0.8544 \\ 0.8452 & 0.9026 & 0.9764 & 0.9261 & 0.9018 \end{pmatrix} & , \\ & \text{objective 1} & \text{objective 2} & \text{objective 3} & \text{objective 4} & \text{objective 5} \end{matrix}$$

$$CE^4 = \begin{matrix} & & & \text{int-tourist} & & \\ \begin{matrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ P5 \\ P6 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0.9851 & 0.9295 & 0.9977 & 0.7878 & 0.9944 \\ 0.8879 & 0.9192 & 0.9024 & 0.9185 & 0.9779 \\ 0.9017 & 0.8572 & 0.8461 & 0.9035 & 0.8541 \\ 0.9020 & 0.9245 & 0.9492 & 0.9729 & 0.8879 \\ 0.6849 & 0.8067 & 0.9075 & 0.7312 & 0.8448 \\ 0.8510 & 0.9026 & 0.9711 & 0.9364 & 0.8971 \end{pmatrix} & , \\ & \text{objective 1} & \text{objective 2} & \text{objective 3} & \text{objective 4} & \text{objective 5} \end{matrix}$$

$$CE^5 = \begin{matrix} & & & \text{farmers} & & \\ \begin{matrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ P5 \\ P6 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0.9851 & 0.9279 & 0.9969 & 0.8694 & 0.9950 \\ 0.8262 & 0.9368 & 0.9637 & 0.9292 & 0.9646 \\ 0.9145 & 0.8639 & 0.8730 & 0.9148 & 0.8844 \\ 0.9276 & 0.9245 & 0.9373 & 0.9581 & 0.9336 \\ 0.8168 & 0.8764 & 0.8974 & 0.8584 & 0.8624 \\ 0.8510 & 0.8823 & 0.9764 & 0.9364 & 0.8684 \end{pmatrix} & , \\ & \text{objective 1} & \text{objective 2} & \text{objective 3} & \text{objective 4} & \text{objective 5} \end{matrix}$$

$$CE^6 = \begin{matrix} & & & \text{park-rangers} & & \\ \begin{matrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ P5 \\ P6 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0.9820 & 0.9953 & 0.9955 & 0.8761 & 0.9954 \\ 0.9161 & 0.9398 & 0.9624 & 0.9425 & 0.9800 \\ 0.9703 & 0.9139 & 0.9217 & 0.9043 & 0.8949 \\ 0.8772 & 0.9276 & 0.9589 & 0.9568 & 0.9427 \\ 0.7116 & 0.8309 & 0.9179 & 0.7775 & 0.7835 \\ 0.8930 & 0.8986 & 0.9782 & 0.9492 & 0.9077 \end{pmatrix} & , \\ & \text{objective 1} & \text{objective 2} & \text{objective 3} & \text{objective 4} & \text{objective 5} \end{matrix}$$

(b) Level 2

At this level the consensus degree on alternatives is calculated. The CI of a stakeholder to the group of stakeholders on the alternative  $i$  (environmental problems). The consensus degree on alternatives  $CA_i^h$ , where  $h$  is each decision maker, can be seen below.

$$\begin{array}{l}
 \text{Uwas} \\
 \text{Tourist} - 1 \\
 \text{Academic} \\
 \text{Tourist} - \text{int} \\
 \text{Farmers} \\
 \text{Park} - \text{ranger}
 \end{array}
 \text{CA} =
 \begin{pmatrix}
 0.8566 & 0.8495 & 0.9090 & 0.8789 & 0.8822 \\
 0.8571 & 0.8458 & 0.9149 & 0.8572 & 0.8520 \\
 0.8688 & 0.8899 & 0.9290 & 0.8750 & 0.9094 \\
 0.8869 & 0.9020 & 0.9408 & 0.9111 & 0.9181 \\
 0.8917 & 0.9177 & 0.9558 & 0.9011 & 0.9174
 \end{pmatrix}
 \begin{array}{l}
 \text{objective 1} \\
 \text{objective 2} \\
 \text{objective 3} \\
 \text{objective 4} \\
 \text{objective 5}
 \end{array}$$

(c) Level 3

According to Ref. 31 the greater the value of CI ( $0 \leq \text{CI} \leq 1$ ), the greater the agreement between an individual expert ( $E^h$ ) and the group as a collective. When  $\min_h \text{CI}^h$  is greater than a threshold value  $\gamma \in [0.5, 1]$ , fixed *a priori* by the group of expert, then the consensus reaching process ends and the selection process is applied to achieve the solution of consensus.

The final level shows the consensus index on the decision matrix  $\text{CI}^h$ , this consensus shows the level of agreement between stakeholders. We give a threshold value CL of 0.83 for this problem searching a very high consensus, as we show in the scale based on Ref. 36 in Sec. 2.2. That means if we have a greater value than CL we assume that the consensus is reached for the problem, otherwise we need to give feedback to the decision makers and a new consensus round is applied. The consensus index for every stakeholder can be seen below.

$$\text{CI} = \begin{matrix} \text{DM1 UWAS} & \text{DM2 TOURIST} & \text{DM3 ACADEMIC} & \text{DM4 TOURISTINT} & \text{DM5 FARMERS} & \text{DM6 PARK} \\ (0.8752 & 0.9058 & 0.9167 & 0.8654 & 0.9118 & 0.8944) \end{matrix}$$

We can observe that all stakeholders have a very high consensus level ( $\text{CI} > 0.83$ ) bigger than our threshold value of 0.83. It means that every stakeholder may agree with the final prioritization given by the weighted AHP process. Then, we assume that the consensus is reached for this problem and we suggest the final prioritization given by the weighted AHP process.

**5. Conclusions**

In this paper, a hybrid multi criteria decision-making (MCDM) model combined with SNA and AHP have been used to solve a consensus problem in an environmental decision-making problem. The SNA technique has been used to build an influential network relation map among decision makers and to obtain their weights for applying a weighted AHP. Then, the final decision matrices for every decision maker have been compared in order to identify the consensus level of the problem.

Regarding the results obtained with the SNA, we can see that the most influential stakeholder are the park rangers. This may be due to they are the official agency of the Park, with the ability to analyze the evolution of the Park and therefore they generate information without vested interests, and the rest of the group trusts them.

The other stakeholders who also show an important influence on the group are the U'was community, probably due to their economic activity and the Academics, probably due to their ideological activity.

Regarding the results obtained through the participative decision-making process based on AHP we found that results do not change when we consider all the stakeholders with the same influence or with different importance in the decision-making problem. This may be due to the stakeholder who differed with the group as a collective, only affect the final prioritization when their influence (weight of a decision maker) increases in the weighted AHP model, as we can see in the sensitivity analysis of the consensus reaching process in its second step.

The calculation of the consensus index has given us an effective way to prove if the stakeholders agree with the final ranking given by the AHP process. In our case the index obtained for all the stakeholders is quite high, showing a great degree of consensus among them.

Regarding the scientific contribution of this paper, the developed model offers a new way of combining decision-making support and participatory procedures. This method is able to provide a systematic course of analysis of the alternatives under examination and of the different decision makers who might participate in the process.

Finally, we want to highlight that this study offers an effective tool that could be used to set the guidelines for the design of strategic objectives for the development of the Natural Park.

Apart from the aforementioned advantages that arise from the application of the AHP in complex decision environments, one of the most significant strengths is the fact that the DMs gain more awareness of the elements at stake while structuring the model and thus learn about the problems while solving them.<sup>40</sup> Traceability is one of the great advantages of the AHP procedure. However, our methodology is not free of criticism. The use of SNA and AHP can be very time consuming, somewhat difficult to apply until the logic is understood and relies much on judgements. For the former an experienced facilitator is required and for the latter a balanced group of real decision makers or experts is needed.

Concerning the utility and applicability of this tool and findings to similar cases, the procedure is easily adaptable. Although the proposal has been specifically applied to the evaluation of environmental problems of the Cucuy National Park of Colombia, it can be adapted to any type of decision-making problem in the environmental field, provided the criteria and the group of stakeholders are correctly identified.

As future lines of investigation, the research team aims at reproducing the procedure elsewhere. For that, other NP managers must bear in mind three key rules: first, to arrange a panel of stakeholders fully representative and motivated; second, to provide an appropriate mean of communication among them and; third, to take this methodology as a whole procedure and to devote the necessary time to it.

## References

1. H. M. Regan, M. Colyvan and L. Markovchick-Nicholls, A formal model for consensus and negotiation in environmental management, *Journal of Environmental Management* **80**(2) (2006) 167–176.
2. M. S. Reed, Stakeholder participation for environmental management: A literature review, *Biological Conservation* **141** (2008) 2417–2431.
3. T. Gómez-navarro and M. García-Melón, Design of an efficiency index for the rank order of soil remediation techniques, *Environmental Engineering and Management Journal*, **10**(5) (2011) 603–613.
4. P. Aragonés-beltrán, M. Garcia-Melón and V. Estruch-Guitart, Analysis of the participation of stakeholders in environmental management based on ANP: Application to a Spanish natural park, *International Journal of the Analytic Hierarchy Process* **7**(1) (2015) 2–14.
5. V. Belton and T. Stewart, *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach* (2002), Springer, US.
6. R. Ginevičius and V. Podvezko, Evaluating the changes in economic and social development of Lithuanian counties by multiple criteria methods, *Technological and Economic Development* **15**(3) (2009) 418–436.
7. N. Ramzan, S. Degenkolbe and W. Witt, Evaluating and improving environmental performance of HC's recovery system: A case study of distillation unit, *Chemical Engineering Journal* **140**(1) (2008) 201–213.
8. J. Solnes, Environmental quality indexing of large industrial development alternatives using AHP, *Environmental Impact Assessment Review* **23**(3) (2003) 283–303.
9. M. Beccali, M. Cellura and M. Mistretta, Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology, *Renewable Energy* **28**(13) (2003) 2063–2087.
10. T. Saaty, The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resources allocation, (McGraw-Hill, 1980), Available at [http://scholar.google.com/scholar?q=The+Analytic+Hierarchy+Process.+Planning,+Priority+Setting,+Resource+Allocation&btnG=&hl=es&as\\_sdt=0,5#0](http://scholar.google.com/scholar?q=The+Analytic+Hierarchy+Process.+Planning,+Priority+Setting,+Resource+Allocation&btnG=&hl=es&as_sdt=0,5#0) [accessed on 20 March, 2014].
11. Z. Varvasovszky, Review article Stakeholder analysis: A review, *Health Policy and Planning* **15**(3) (2000) 239–246.
12. C. Prell, K. Hubacek and M. Reed, Stakeholder analysis and social network analysis in natural resource management, *Society & Natural Resources* **22** (2009) 501–518.
13. S. Charnley and B. Engelbert, Evaluating public participation in environmental decision-making: EPA's superfund community involvement program, *Journal of Environmental Management* **77**(3) (2005) 165–182.
14. M. S. Reed, A. Graves, N. Dandy *et al.*, Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management, *Journal of Environmental Management* **90**(5) (2009) 1933–1949.
15. B. L. Bonner and A. R. Bolinger, Separating the confident from the correct: Leveraging member knowledge in groups to improve decision making and performance, *Organizational Behavior and Human Decision Processes* **122**(2) (2013) 214–221.
16. B. L. Bonner and M. R. Baumann, Informational intra-group influence: The effects of time pressure and group size. **66** (2008) 46–66.
17. E. Kirchler and J. H. Davis, The influence of member status differences and task type on group consensus and member position change, *Journal of Personality and Social Psychology* **51**(1) (1986) 83–91.
18. A. Janet and R. A. H. Snizek, Accuracy and confidence in group judgment, *Organizational Behavior and Human Decision Processes* **43**(1) (1989) 1–28.

19. B. L. Bonner, S. D. Sillito and M. R. Baumann. Collective estimation: Accuracy, expertise, and extroversion as sources of intra-group influence, *Organizational Behavior and Human Decision Processes* **103**(1) (2007) 121–133.
20. M. Burgman, *Risks and Decisions For Conservation and Environmental Management* (Cambridge University Press, 2005).
21. E. Krinitzsky, Earthquake probability in engineering — Part 1: The use and misuse of expert opinion. The Third Richard H. Jahns Distinguished Lecture in engineering geology, *Engineering Geology* (1993), Available at <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/001379529390030G> [accessed on 16 November, 2015].
22. R. K. Mitchell, B. Agle and D. J. Wood, Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts, *Academy of Management Review* **22**(4) (1997) 853–886.
23. J. M. Bryson, What to do when stakeholders matter, *Public Management Review* **6**(1) (2004) 21–53.
24. S. Biggs and H. Matsuert, An actor-oriented approach for strengthening research and development capabilities in natural resource systems, *Public Administration and Development* **19**(3) (1999) 231–262.
25. J. Wu and F. Chiclana, A social network analysis trust-consensus based approach to group decision-making problems with interval-valued fuzzy reciprocal preference relations, *Knowledge-Based Systems* **59** (2014) 97–107.
26. S. Wasserman and K. Faust, *Social Network Analysis*, 15th edn. (Cambridge University Press, New York, 2007).
27. R. Hannerman and M. Riddle, *Introduction to Social Network Methods*, Riverside, CA: University of California, Riverside (2015) published in digital form at <http://faculty.ucr.edu/~hannemar>.
28. G. Sabidussi, Index of a graph, *Psychometrika* **31**(4) (1966) 581–603.
29. S. P. Borgatti, J. C. Johnson and M. G. Everett, *Analyzing Social Networks*. SAGE Publications Limited, London (2013).
30. F. Chiclana, J. M. Tapia García, M. J. Del Moral and E. Herrera-Viedma, A statistical comparative study of different similarity measures of consensus in group decision making, *Information Sciences* **221** (2013) 110–123.
31. J. Wu, F. Chiclana and E. Herrera-Viedma, Trust based consensus model for social network in an incomplete linguistic information context, *Applied Soft Computing* **35** (2015) 827–839, 1–13, doi: 10.1016/j.asoc.2015.02.023.
32. J. Xu and Z. Wu, A discrete consensus support model for multiple attribute group decision making, *Knowledge-Based Systems* **24**(8) (2011) 1196–1202.
33. F. J. Cabrerizo, F. Chiclana and E. Herrera-Viedma, Challenges and open questions in soft consensus models, *Proc. IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS) IEEE (Edmonton AB 2013)* (2013), pp. 944–949.
34. F. Herrera, E. Herrera-Viedma and J. L. Verdegay, Choice processes for non-homogeneous group decision making in linguistic setting, *Fuzzy Sets and Systems* **94** (1998) 287–308.
35. F. Chiclana, E. Herrera-Viedma, F. Herrera and S. Alonso, Some induced ordered weighted averaging operators and their use for solving group decision-making problems based on fuzzy preference relations, *European Journal of Operational Research* **182**(1) (2007) 383–399.
36. F. Mata, L. Mart and E. Herrera-Viedma, An adaptive consensus support model for group decision-making problems in a multigranular fuzzy linguistic context, **17**(2) (2009) 279–290.

37. M. Fishbein, H. C. Triandis, F. H. Kanfer, M. Becker and S. E. Middlestadt, Factors influencing behavior and behavior change, in *Handbook of Health Psychology* (Mahwah New Jersey Lawrence Erlbaum, 2001).
38. T. L. Saaty and K. Peniwati, G decision making: Drawing out and reconciling differences, in *Group Decision Making: Drawing Out and Reconciling Differences* (RWS Publications, 2013).
39. Z. Xu, On consistency of the weighted geometric mean complex judgement matrix in AHP, *European Journal of Operational Research* **126**(3) (2000) 683–687.
40. M. Rosso, M. Bottero, S. Pomarico and S. La Ferlita and E. Comino, Integrating multicriteria evaluation and stakeholders analysis for assessing hydropower projects, *Energy Policy* **67** (2014) 870–881.



---

**Influence Networks based Methodology for Consensus  
Reaching in Group-Decision-Making**

# Influence Networks based Methodology for Consensus Reaching in Group-Decision-Making Problems

Jorge Ivan Romero-Gelvez<sup>1,3</sup> ✉, Felix Antonio Cortes-Aldana<sup>1</sup>, Monica Garcia-Melon<sup>2</sup>, Jorge Aurelio Herrera Cuartas<sup>3</sup>, and Olmer Garcia Bedoya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia

<sup>2</sup> Universitat Politecnica de Valencia

<sup>3</sup> Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá  
jorgei.romerog@utadeo.edu.co

**Abstract.** The purpose of this work is to show a way to improve agreement in group decision problems. This work focuses his effort on the issue refers to assign different importance to every decision-maker. We propose as a novelty a methodology to assign different levels of importance to every decision-maker according to their perceived importance in the group. First, judgments are collected by an html form and use a proposed method based on SNA and DEMATEL to assign weights to decision-makers according to their reputation in the decision-group. Next, we solve the problem using AHP in order to rank the alternatives.

**Keywords:** Influence · SNA · Consensus · Group-Decision-Making · MCDA · DEMATEL.

## 1 Introduction

Group decision-making problems present several issues to reach a consensus between decision-makers. According to [3,4] there are challenges and open questions according to represent a different level of importance to decision-makers. We propose that importance can be represented as weight over every decision-maker in order to influence a change over decision-makers initial judgments to reach a consensus agreement level over the main decision-making problem. There are many methods for weighting criteria, [1,17,29,28,25] Modeling a decision maker's preferences as tangible valuations of their value judgments or even quantitative information represents the core of the multi-criteria decision analysis. Determining correct valuations for the criteria and alternatives becomes a problem of vital importance in decision making. Determining this importance has been approached from multiple perspectives, among some of the best-known approaches, we can highlight the method of entropy, SWARA, SAW, AHP and ANP, among others. Even dematel presents a proposal to generate weights from the sets of importance and influence.

Copyright © 2019 for this paper by its authors. Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)  
2019 ICAI Workshops, pp. 280–294, 2019.

## 2 Literature review and basic background

Groups have the potential to produce decisions that are better than individual ones. However, research and history show that groups can make worse decisions than individuals, even in the presence of diversity, strong leadership and unlimited time. The influence analysis has been developed from the social sciences, being psychology one of the branches that has presented more interest due to an extended use in the dynamics of group decision problems. Its historical evolution is shown below, emphasizing in the end the trend in applications related to multi-criteria analysis. According to [11] in 1950, many psychologists followed a research program on communication and social influence that focused on the foundations of power and influence in groups. Later, in 1970, interest in the field of group dynamics start to increase. While the increasing use of formal models tilts the field towards a concern with theoretical issues, the field is still far from having an adequate balance between theory, method and data. In the 1990s, [19] the most active lines of research in small groups were no longer in social psychology but in organizational psychology. However, even in organizational psychology, there has been a decline in work in human relationships and traditions of group dynamics exemplified by [16]. During the 1990s, more work was done in intergroup relationships, based on social cognition approaches, than in intergroup relationships, in which the structural characteristics of groups are recognized and treated. At the same time, intergroup relationship research moves to other fields of application. The social influence network theory presents a formalization of the social process of attitude changes that develop in a network of interpersonal influence [10,9,11]. [21] suggests, that the emergence of interpersonal influence is among the basic postulates of social psychological theory: *People's attitudes are usually formed in interpersonal settings in which influential positions on issues disagree and may change.* The social influence network (SIN) has been continuously developed since the 1950s by [14,13,6,10]. It is one of the important fields directly related to group decision making and SNA. In this co-related direction, recent studies on CGDM have been introduced with the incorporation of the theory of social influence, derived from social networks. Brunelli et al. He addressed the evaluation of consensus considering the strengths of the influence of experts in a social network through a measure of centrality of their own vector with a blurred adjacency relationship approach. In [15], a leadership-based consensus procedure was developed, where opinion managers can give advice and influence the formation of a social network's judgment to achieve consensus.

## 3 Methodology

For solve large group decision problems we propose a hybrid methodology based on [24,12,23,22] using Social network analysis/DEMATEL for assign weights to DM and analytic hierarchy process (AHP) for solve the decision-making problem. As novelty we include a weighting rule (eq. 15)

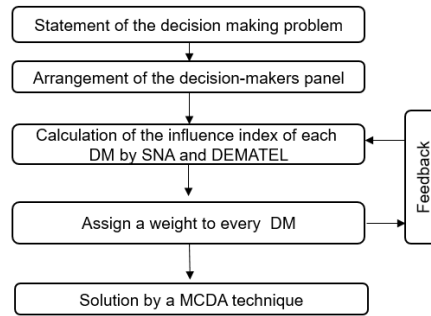


Fig. 1: Step by step methodology

The methodology can be seen in the fig. 1. First, we generate the visualization an analysis of data obtained by all decision-makers (DM). We collect all data by a html questionnaire shared with several D-M, in order to obtain the value-judgments of them. For data visualization and analysis of all decision makers we use JULIA programming language with the packages `Taro`, `DataFrames` and `ExcelReaders`. Second, we assign weights to all decision-makers as the arithmetic mean of SNA and proposed DEMATEL. Finally, we assign weights to all decision-makers and solve the problem with an MCDA technique, in this case, we propose to use AHP by an own developed package in Julia <sup>4</sup>. The use of SNA, DEMATEL and AHP is explained as follows.

### 3.1 Social Network Analysis

According to [2] social network analysis is a collection of techniques under a methodology that allows us to create social structures by using graph theory and network analysis. Social structures can represent several kinds of different relationships between actors and assign weight to those relationships. It can represent the spread of disease or virus, interpersonal relationships, trust, influence, among many others. According to [18] SNA practice, it implies following an analysis structure that suggests the following steps (adapted for our context in decision making by the authors):

- **Identification:** In this paragraph we notice the advice from [2] and define relational states as "relational cognition" in perceptual aspects. (Influence among them)
- **Analysis:** Measure the level of proximity for every decision-maker in the influence network, to assign them different levels of importance.
- **interpretation of information:** Assign weights for every decision-maker to use their influence in a dynamic group decision-making problem and improve consensus in their judgments.

<sup>4</sup> <https://github.com/jorgeiv500/AnalyticHierarchyProcess>

There are many proximity measures, in this work we use the measure [27]. The proximity can be compute as follows:

$$C'_c(n_i) = \frac{g - 1}{\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)} \tag{1}$$

Where:  $d(n_i, n_j)$  is the distance between the actor  $n_i$  and the actor  $n_j$ ,  $g$  is the sum of actors present in the network. The proximity measure proposed by Sabidussi can be seen as the average inverse distance between the actor (interested party in our problem) and all other actors. Proximity is the inverse measure of centrality because large values indicate that a node has high peripheral value, and small values indicate greater centrality in a node. A higher proximity index indicates less importance for each actor.

**Decision-makers weight calculation** The importance index is represented as the weight  $W_j$  of each DM when an opposite measure  $I$  is normalized as follows:

$$I = \frac{1}{C'_c(n_i)} \tag{2}$$

Being  $I$  the importance of each DM  $n_i$  represented as the influence over all the DM and  $W_i$  is the weight for each DM.

$$W_i = \frac{I_i}{\sum_j I_i} \tag{3}$$

**3.2 Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)**

Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, was developed by [7,8] based on structural modeling for solving complicated and intertwined problems. According to [20], this method has his core on graph theory which can divide multiple criteria into a cause-and-effect group and the causal relationships in a network. This technique has extended use, so it can calculate the relations between criteria for Analytic-network-problems and other MCDM methods. In this method each node represents an evaluation item (like criteria, people, alternatives, among others), and arcs represent the strength of their relations. First, using a four values scale where every influencing factor is denoted by:

- No influence → 0
- Low influence → 1
- Medium influence → 2
- High influence → 3
- Very high influence → 4

We invite experts denoted as  $H_i$  to obtain the direct influence matrices  $B_H$ . Every decision-maker give their judgments over the evaluation items with the scale presented before.

$$B_H = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} & b_{1n} \\ b_{21} & 0 & b_{2n} \\ x_{n1}^k & x_{n2}^k & 0 \end{pmatrix} \tag{4}$$

Where  $b_{i,j}$  represents the direct influenced matrix determined by the  $H - th$  expert.

Next, we compute the average matrix as the arithmetic mean of all  $B_H$  matrices.

$$A = [b_{ij}]_{n \times n} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{12}^h & \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{1n}^h \\ \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{21}^h & 0 & \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{2n}^h \\ \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{n1}^h & \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{n2}^h & 0 \end{bmatrix} \tag{5}$$

Where  $A$  is the average matrix. Then, using eq 6 we normalize the average matrix  $A$ . The normalized initial direct-relation matrix  $R$  can be obtained as follows:

$$R = \frac{1}{v} A \tag{6}$$

Where the normalizing factor  $v$  is given by

$$v = \max_{i,j=1,\dots,n} \left\{ \sum_{j=1}^n b_{ij}, \sum_{i=1}^n b_{ij} \right\} \tag{7}$$

Later, we compute the total relation matrix  $T$ . The powers of  $R$  represent the indirect effects between any factors. A continuous decrease of the indirect effects of factors along with the powers of matrix  $R$ , such as  $R^2, R^3, R^4, \dots, R^n$  like a Markov chain matrix, guarantees convergent solutions to the matrix inversion. Then, the total relation matrix  $X$  is given as follows:

$$T = R + R^2 + R^3 + \dots = R(I - R)^{-1} \tag{8}$$

Where  $I$  is  $n \times n$  unit matrix.

The total effect that directly and indirectly exerted by the  $ith$  factor, is denoted by  $r_i$ , could be calculated as follows:

$$r_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \tag{9}$$

The total effect including direct and indirect effects received by the  $jht$  factor, id denoted by  $c_j$  could be calculated as follows:

$$c_j = \sum_{i=1}^n t_{ij} \tag{10}$$

**Decision-makers weights calculation** According with [1,5] DEMATEL can be used in order to compute the weights of criteria in MCDM problems as follows.

$$r_i + c_i = t_i^+ = \sum_{j=1}^n t_{i,j} + \sum_{j=1}^n t_{j,i} \tag{11}$$

where  $t_i^+$  represents the importance factor of every evaluated item.

$$r_i - c_i = t_i^- = \sum_{j=1}^n t_{i,j} - \sum_{j=1}^n t_{j,i} \tag{12}$$

where  $t_i^-$  represents the influence factor of every evaluated item.

$$w_i = ((t^+)^2 + (t^-)^2)^{1/2} \tag{13}$$

where  $w_i$  represents euclidean distance of every evaluated factor, and consider the importance  $t_i^+$  and influence  $t_i^-$  of all nodes.

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \tag{14}$$

Finally, we normalize matrix  $w_i$  and obtain the weights for all item under evaluation.

**Proposed method for weighting based on DEMATEL influence  $t_i^-$**

Given that we want to see the influence of every DM into all other participants, we propose: from eq 12 obtain influence values of every decision-maker, similar to centrality values we obtain the capacity of change judgments over other decision-makers. Later, we show their similarities with a numeric example in the last section of this paper. We propose only use the influence  $t_i^-$ , as positive values by adding the double of the absolute value from a minimum of all negative values in set  $t_i^-$ .

$$W(t_i) = \begin{cases} \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} & \text{if any } t_i^- \in \{\mathbf{R} < 0\} \\ \frac{t_i^-}{\sum_{i=1}^n t_i^-} & \text{if } t_i^- \in \{\mathbf{R} \geq 0\} \end{cases} \tag{15}$$

where  $W(t_i)$  is the final weighth for every decision-maker,  $t_i^-$  is the influence vector and  $\omega_i = t_i^- + 2|\min_{i=1}^n t_i^-|$  are positive values from  $t_i^-$ .

**3.3 Analytic hierarchy process**

For solving the DM problem, we propose the use of AHP, as an accepted and used often in problems that include subjective judgments of people. According to Saaty [26,25] the AHP is a useful tool to structure complex problems that influence multiple criteria and at the same time classify a set of alternatives in order of importance. Initially a hierarchical structure is made where the main

decision problem is identified, then the criteria and sub-criteria that are taken into account for the decision are identified. The last level corresponds to the set of alternatives that will be evaluated concerning each of the criteria and sub-criteria. This evaluation is carried out through a series of binary comparisons in a matrix  $n \times n$ , where  $n$  is the number of elements to be compared. In order to make the comparison, a scale is required. He proposed a scale between 1 and 9 where each intermediate value has an interpretation for the decision-maker (see Table.1).

Table 1: Saaty scale

Relative Intensity	Definition
1	Equal importance
3	Moderate importance of one element over another
5	Strong importance of one element over another
7	Very strong importance of one element over another
9	Extreme importance of one element over another

Values 2, 4, 6 and 8 are intermediate values that can be used in some cases. The next step is to find the relative priorities of the criteria and / or the alternatives. This step is based on the eigenvector theory. For example if a comparison matrix is  $A$ , then:

$$Aw = \lambda_{\max}w \tag{16}$$

Where  $w$  corresponds to the column vector of the relative weights obtained by making the average of each line of the normalized comparison matrix.

The value of  $\lambda_{\max}$  is obtained by adding the column vector corresponding to the multiplication of the original comparison matrix with the column vector of relative weights.

$$\lambda_{\max} = \sum_i^n Aw \tag{17}$$

Because comparisons are made subjectively, a consistency index is required to measure the consistency of the person making the ratings. The consistency index and the consistency ratio  $CR$  are calculated as follows:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad CR = \frac{CI}{RI} \tag{18}$$

Where the  $RI$  inconsistency ratio is a comparison constant that depends on the size of the paired comparison matrix for sizes of  $n = 9$  (our criteria x criteria matrix)  $RI = 1.45$



## 4 Solution method

- **Decision-Making Problem Formulation:** We use a HTML survey<sup>5</sup> form in order to collect judgments for 6 Decision Makers.
- **Data Management and implementation SNA-DEMATEL:** The implementation of SNA was made with Gephi and calculating in Julia Language the Sabidussi proximity measure.
- **Decision-Making Problem solution:** For solve the DM problem, we first compare and assign a weight to every DM in order to give them different levels of importance. Next, we solve the problem using AHP and arithmetic mean aggregation of their judgments.
- **IDE:** IPython/IJulia/Jupyter-notebooks.

### 4.1 Case Study in environmental decisions

**Decision-Making Problem Formulation:** The primary purpose of this application is to compare DEMATEL with SNA to assign weights to decision-makers. To solve the DM-Importance issue, we analyze the problem presented in [24]. This problem includes new six decision-makers as stakeholders in a group decision-making problem. The main problem is to prioritize environmental issues in a natural park. The criteria describe as follows.

**Criteria** The set of criteria is given in order to prioritize the problems given as conservation objectives for the Cocuy National Natural Park.

- Keep the eco-systemic connectivity of forest areas and wilderness.
- Preserve habitats and populations of endemic species.
- Keep the water supply that feeds the river basins.
- Protect the Uwa territory that overlaps with the Park.
- Protect outstanding scenic values.

**Alternatives** After discussing with the panel of decision-makers, it was agreed to use 6 problems present in the National natural park.

- Socio-Political fragmentation and loss of traditional knowledge of Uwa community.
- Logging, burning and clearing of vegetation to maintain pastures and crops between the Andean forests in the eastern sector.
- Infrastructure without environmental impact studies and mitigation measures (deposits, canals, bridges, roads)
- Extensive grazing in the park.
- Clogging and rapid drying of peatlands, lakes and springs
- Tourism poorly managed in the park.

<sup>5</sup> <https://www.1ka.si/>

**Data Management and implementation SNA-DEMATEL:** In order to implement SNA and DEMATEL we make a square matrix for every DM collecting the perceived importance of each other DM. Next, according with [24] we calculate the influence index for every DM, by asking the decision makers the following question: “*Q1. Which stakeholder do you think may agree with your opinion regarding the ranking of the goals of Cocuy National Park?*”. Each DM gives his/her opinion (their own beliefs) in order to build the square matrix following the scale:

- No agreement with your opinion = 0
- Low level of agreement with your opinion = 1
- Medium level of agreement with your opinion = 2
- High level of agreement with your opinion = 3
- Very high level of agreement with your opinion = 4

The judgments for every decision maker (also called matrix *A* See eq.5) can be observed in Table 2 their aggregation and normalization (also called matrix *D* See eq.6) can be observed in Table 3.

$$A = \begin{pmatrix} 0.00 & 2.33 & 2.33 & 2.33 & 2.50 & 3.67 \\ 1.83 & 0.00 & 2.50 & 3.00 & 2.67 & 2.17 \\ 1.00 & 2.00 & 0.00 & 1.50 & 1.83 & 1.00 \\ 1.67 & 3.17 & 1.83 & 0.00 & 1.67 & 1.83 \\ 1.67 & 1.67 & 1.83 & 2.17 & 0.00 & 3.00 \\ 1.50 & 1.50 & 1.83 & 1.83 & 1.83 & 0.00 \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} 0.00 & 0.18 & 0.18 & 0.18 & 0.19 & 0.28 \\ 0.14 & 0.00 & 0.19 & 0.23 & 0.20 & 0.16 \\ 0.08 & 0.15 & 0.00 & 0.11 & 0.14 & 0.08 \\ 0.13 & 0.24 & 0.14 & 0.00 & 0.13 & 0.14 \\ 0.13 & 0.13 & 0.14 & 0.16 & 0.00 & 0.23 \\ 0.11 & 0.11 & 0.14 & 0.14 & 0.14 & 0.00 \end{pmatrix}$$

Table 3: Aggregation *A* and Normalization *D*, also called *D* matrix

	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6
DM1	0	0.2	0.2	0.2	0.214	0.314
DM2	0.16	0	0.214	0.257	0.229	0.186
DM3	0.09	0.171	0	0.129	0.157	0.086
DM4	0.14	0.271	0.157	0	0.143	0.157
DM5	0.14	0.143	0.157	0.186	0	0.257
DM6	0.13	0.129	0.157	0.157	0.157	0

From Table 3 we apply DEMATEL and Social Network Analysis in sub section Decision-making problem solution as follows.

Table 2: Influence values for every decision maker DM

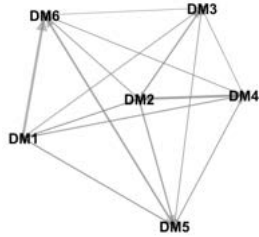
(a) Decision maker 1							(b) Decision maker 2						
	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6		DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6
DM1	0	3	3	3	3	4	DM1	0	2	3	3	2	4
DM2	2	0	3	3	2	2	DM2	2	0	3	3	3	3
DM3	1	1	0	2	1	1	DM3	1	2	0	2	2	0
DM4	1	3	3	0	1	3	DM4	2	4	1	0	2	2
DM5	2	1	2	3	0	3	DM5	1	2	2	1	0	3
DM6	1	2	2	1	2	0	DM6	2	1	2	3	2	0

(c) Decision maker 3							(d) Decision maker 4						
	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6		DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6
DM1	0	3	2	2	3	4	DM1	0	2	2	3	3	3
DM2	2	0	2	3	3	0	DM2	1	0	3	3	3	3
DM3	1	3	0	1	2	1	DM3	1	2	0	0	2	2
DM4	2	3	2	0	2	1	DM4	1	3	2	0	2	2
DM5	1	2	2	2	0	4	DM5	2	2	1	2	0	3
DM6	1	2	1	1	2	0	DM6	2	1	2	2	2	0

(e) Decision maker 5							(f) Decision maker 7						
	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6		DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6
DM1	0	2	2	0	2	3	DM1	0	2	2	3	2	4
DM2	2	0	2	3	2	2	DM2	2	0	2	3	3	3
DM3	1	2	0	2	2	1	DM3	1	2	0	2	2	1
DM4	2	3	1	0	3	2	DM4	2	3	2	0	0	1
DM5	2	1	2	2	0	3	DM5	2	2	2	3	0	2
DM6	2	1	2	2	2	0	DM6	1	2	2	2	1	0



$$C_i = \begin{pmatrix} 0.38 \\ 0.75 \\ 1.50 \\ 1.43 \\ 1.36 \\ 2.00 \end{pmatrix} \quad I_i = \begin{pmatrix} 2.63 \\ 1.33 \\ 0.67 \\ 0.70 \\ 0.73 \\ 0.50 \end{pmatrix} \quad W_i = \begin{pmatrix} 0.40 \\ 0.20 \\ 0.10 \\ 0.11 \\ 0.11 \\ 0.08 \end{pmatrix} \quad (19)$$

Fig. 2: Influence Network in Gephi®

**Decision-Making Problem solution:** For **SNA** analysis we take the  $D$  matrix and represent the strength of all influence-relations in a graph (with gephi software) as we can see in Fig 2. Their importance is calculated by Sabidussi centrality/proximity measure [27]. Once we have the Sabidussi centrality  $C_i$  we apply the eq.2 and 3 in order to calculate the weight (importance) for every decision maker (see eq. 19 ). Next, we apply **DEMATEL** also starting from matrix  $D$ , next using eq 6 we obtain the direct relations matrix, then we also get the total relation matrix  $T$  from eq 8 (see Table 4)

$$T = \begin{pmatrix} 0.44 & 0.73 & 0.72 & 0.74 & 0.73 & 0.85 \\ 0.53 & 0.55 & 0.69 & 0.74 & 0.71 & 0.72 \\ 0.34 & 0.49 & 0.35 & 0.46 & 0.47 & 0.45 \\ 0.47 & 0.68 & 0.59 & 0.49 & 0.58 & 0.63 \\ 0.47 & 0.58 & 0.58 & 0.62 & 0.46 & 0.69 \\ 0.40 & 0.50 & 0.51 & 0.53 & 0.51 & 0.42 \end{pmatrix} \quad (20)$$

In order to identify the relevant relations between decision-makers we give a

Table 4: total relation matrix  $T$ ,  $r$  and  $c$  values

	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6	$r$
DM1	0.439451	0.731664	0.717209	0.741951	0.733089	0.846074	<b>4.209</b>
DM2	0.533578	0.549456	0.690697	0.742677	0.70559	0.720201	<b>3.942</b>
DM3	0.339858	0.48739	0.345787	0.464839	0.472036	0.449336	<b>2.559</b>
DM4	0.473047	0.676942	0.588607	0.488866	0.584842	0.6284	<b>3.441</b>
DM5	0.466728	0.582645	0.57874	0.617774	0.461313	0.688785	<b>3.396</b>
DM6	0.402952	0.503124	0.510324	0.527189	0.514534	0.424408	<b>2.883</b>
$c$	<b>2.656</b>	<b>3.531</b>	<b>3.431</b>	<b>3.583</b>	<b>3.471</b>	<b>3.757</b>	

threshold value  $\beta = 0.6$  (0.1 over the arithmetic mean of every  $b_{ij}$  given in the matrix  $T$ ). In Table 4 we can see all important relations between decision-makers (in green) and represent them in DEMATEL (see Fig. 3) relations graph. The final ranking for DEMATEL importance and influence can be observed in Table 5b as follows:

Finally, we solve the problem using AHP through superdecisions-software <sup>6</sup>. Table 5a shows the weight compatibility between the proposed SNA and DEMATEL approach. Weights obtained using the proposed DEMATEL approach have been compared with those obtained with Social network analysis by heightening-sabidussi proximity measure (see Fig. 4 as follows).

Comparing them, there are very similar and present compatibility in their order of preference, obtaining the same selection results when apply AHP method as can be seen in Figs 5 and 6.

<sup>6</sup> <https://www.superdecisions.com>

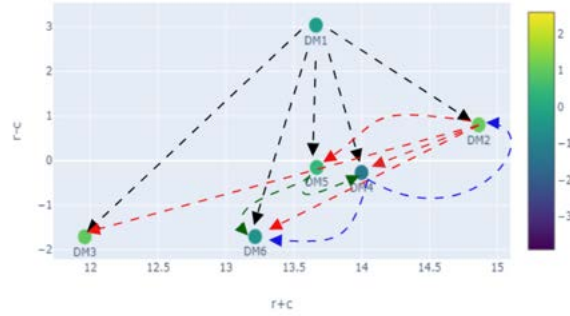


Fig. 3: DEMATEL importance  $r + c = t_i^+$  and influence  $r - c = t_i^-$  with their Relationships from  $X$  matrix

Table 5: Influence values for every decision maker DM

(a) DM final weights			(b) Influence $r - c$ and Importance $r + c$			
	Sabudussi SNA $W_i$	Proposed Dematel $W_i$	$r$	$c$	$r+c$	$r-c$
DM1	0.40	0.31	4.21	2.66	6.87	1.55
DM2	0.20	0.21	3.94	3.53	7.47	0.41
DM3	0.10	0.08	2.56	3.43	5.99	-0.87
DM4	0.11	0.15	3.44	3.58	7.02	-0.14
DM5	0.11	0.16	3.40	3.47	6.87	-0.08
DM6	0.08	0.08	2.88	3.76	6.64	-0.87

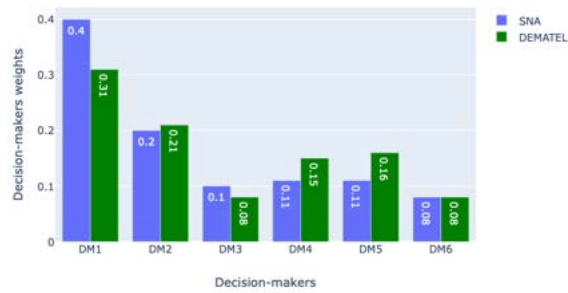


Fig. 4: Decision-makers final weights

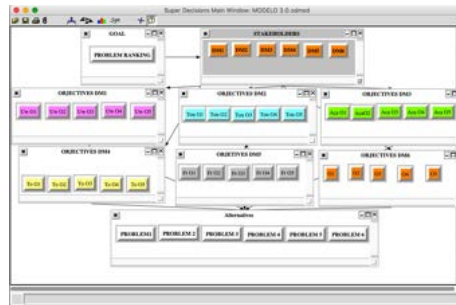
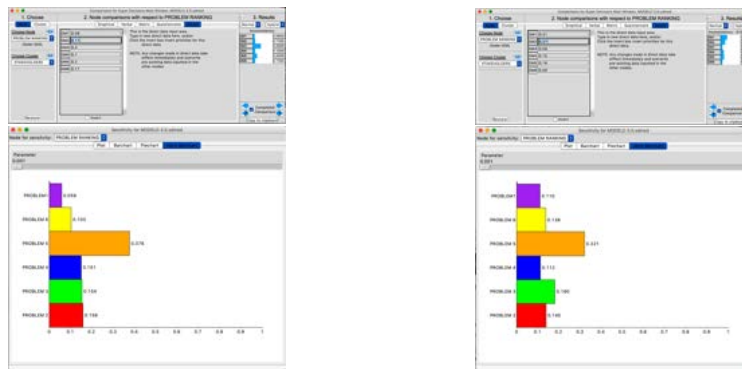


Fig. 5: AHP Decision-model using Superdecisions software



(a) AHP model results using SNA      (b) AHP model results using DEMATEL

Fig. 6: AHP model results with proposed models using Superdecisions

Now, we replace weights with arithmetic mean of two proposed approaches and obtain as result:  $Aw_i = \{0.360.200.090.130.140.08\}$  and alternatives solution

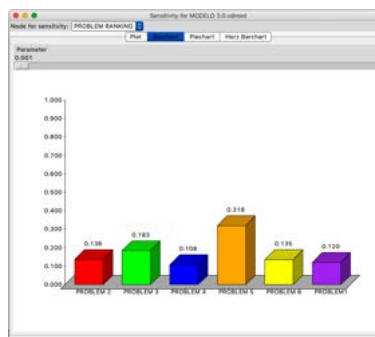


Fig. 7: Final Ranking with Superdecisions

ranking for the problem:  $S_i = \{0.140.180.110.320.140.12\}$ . As can see in Fig. 7 Problem 5 is the most important problem in this numerical example, and there is an agreement of every decision-makers over the solution, reaching consensus over the final rank.

## 5 Conclusions

- Sabidussi proximity measure give similar results to Normalized DEMATEL proposed weighting method, both proposals are normalized and proportional.
- It is possible to influence change over judgments in a decision-makers group by an iterative and dynamic way, showing the values of the actor that have major influence over all.
- People tend to agree with judgments from the most influential actor, given their importance perception over some participants in the decision-making group.
- Group decision making presents several issues according to every different context in decision-making formulation. However, one of the open challenges can be solved by our proposal in a very effective way, giving to every decision-maker a perceived-influence by other members of the decision group.
- In addition, to compute weights for every decision-maker, social network analysis and DEMATEL give the analyst in the group decision problem the capacity of increasing their knowledge about hidden relationships over participants and give an easy way to reach agreements faster than other panel-based-methods.

## References

1. Baykasoğlu, A., Kaplanoğlu, V., Durmuşoğlu, Z.D., Şahin, C.: Integrating fuzzy dematel and fuzzy hierarchical topsis methods for truck selection. *Expert Systems with Applications* **40**(3), 899–907 (2013)
2. Borgatti, S.P., Everett, M.G., Johnson, J.C.: *Analyzing social networks*. Sage (2018)
3. Cabrerizo, F.J., Pérez, I.J., Herrera-Viedma, E.: Managing the consensus in group decision making in an unbalanced fuzzy linguistic context with incomplete information. *Knowledge-Based Systems* **23**(2), 169–181 (2010)
4. Cabrerizo, F.J., Chiclana, F., Urena, M., Herrera-Viedma, E.: Challenges and open questions in soft consensus models. In: 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS). pp. 944–949. IEEE (2013)
5. Dalalah, D., Hayajneh, M., Batiha, F.: A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert systems with applications* **38**(7), 8384–8391 (2011)
6. DeGroot, M.H.: Reaching a consensus. *Journal of the American Statistical Association* **69**(345), 118–121 (1974)
7. Fontela, E., Gabus, A.: *Dematel, innovative methods* (1974)
8. Fontela, E., Gabus, A.: *The dematel observer* (1976)
9. Friedkin, N.E.: *A structural theory of social influence*, vol. 13. Cambridge University Press (2006)

10. Friedkin, N.E., Johnsen, E.C.: Social influence and opinions. *Journal of Mathematical Sociology* **15**(3-4), 193–206 (1990)
11. Friedkin, N.E., Johnsen, E.C.: *Social influence network theory: A sociological examination of small group dynamics*, vol. 33. Cambridge University Press (2011)
12. Gelvez, J., Aldana, F.C., Sepúlveda, G.: Mining method selection methodology by multiple criteria decision analysis—case study in colombian coal mining. In: *International Symposium of the Analytic Hierarchy Process*, Washington DC, USA (2014)
13. Harary, F.: A criterion for unanimity in french's theory of social power. (1959)
14. Johnsen, E.: *Studies in multiobjective decision models*. Studentlitteratur Lund (1968)
15. Kamis, N.H., Chiclana, F., Levesley, J.: An influence-driven feedback system for preference similarity network clustering based consensus group decision making model. *Information Fusion* **52**, 257–267 (2019)
16. Katz, L.: A new status index derived from sociometric analysis. *Psychometrika* **18**(1), 39–43 (1953)
17. Keršulienė, V., Zavadskas, E.K., Turskis, Z.: Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (swara). *Journal of business economics and management* **11**(2), 243–258 (2010)
18. Khan, G.F.: *Seven Layers of Social Media Analytics: Mining Business Insights from Social Media Text, Actions, Networks, Hyperlinks, Apps, Search Engines, and Location Data*. Gohar Feroz Khan (2015)
19. Levine, J.M., Moreland, R.L.: Progress in small group research. *Annual review of psychology* **41**(1), 585–634 (1990)
20. Lin, C.J., Wu, W.W.: A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications* **34**(1), 205–213 (2008)
21. Newcomb, T.M.: *Social psychological theory: integrating individual and social approaches*. (1951)
22. Romero Gelvez, J.I.: Selección de métodos extractivos y su impacto en la productividad minera. estudio de caso en la minería de carbón colombiana (Diciembre 2012)
23. Romero-Gelvez, J.I., Cortes-Aldana, F.A., Franco-Sepulveda, G.: Compromise solutions in mining method selection - case study in colombian coal mining. *DYNA* **82**, 127 – 136 (06 2015)
24. Romero-Gelvez, J.I., Garcia-Melon, M.: Influence analysis in consensus search—a multi criteria group decision making approach in environmental management. *International Journal of Information Technology & Decision Making* **15**(04), 791–813 (2016)
25. Saaty, T.L.: What is the analytic hierarchy process? In: *Mathematical models for decision support*, pp. 109–121. Springer (1988)
26. Saaty, T.L., Peniwati, K.: *Group decision making: drawing out and reconciling differences*. RWS publications (2013)
27. Sabidussi, G.: The centrality index of a graph. *Psychometrika* **31**(4), 581–603 (1966)
28. Shannon, C.E., Weaver, W.: *The mathematical theory of communication* (urbana, il (1949)
29. Simos, J.: Evaluer l'impact sur l'environnement: Une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation. In: *Evaluer l'impact sur l'environnement: une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation*. Presses polytechniques et universitaires romandes (1990)



---

**A Triad Census Approach for Improving Consensus and Consistency in Group Decision Making Problems**

# A Triad Census Approach for Improving Consensus and Consistency in Group Decision Making Problems

Jorge Ivan Romero-Gelvez<sup>1,3(✉)</sup>, Felix Antonio Cortes-Aldana<sup>1</sup>, Monica Garcia-Melon<sup>2</sup>, Jorge Aurelio Herrera Cuartas<sup>3</sup>, and Olmer Garcia Bedoya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia

<sup>2</sup> Universitat Politecnica de Valencia

<sup>3</sup> Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá  
jorgei.romerog@utadeo.edu.co

**Abstract.** Group decision-making problems present open challenges in counseling, visualization, and verbalization, among others. This paper presents a novel method to improve consistency in GDM using a triad census algorithm as a counseling tool and Decision-making trial laboratory DEMATEL as weighting and visualization tool. First, judgments are collected by an HTML survey and use them a proposed method based on DEMATEL to assign weights and visualize decision-makers according to their reputation in the decision-group. Later, we create the decision matrix using the BORDA scale for prioritizing the alternatives and Saaty's eigenvector for weighting all criteria. Once the triad census algorithm gives a set of all 030-T triads, next, it evaluates the inconsistency in every triad in order to obtain the minimum changes that increase the consistency-ratio of every matrix. At last, a soft consensus index control is performed until it reaches a minimum level of agreement for the GDM problem.

**Keywords:** Group-Decision-Making · Consensus · DEMATEL · AHP · Triad Census

## 1 Introduction

Group decisions involve a larger quantity of invested resources like time and effort than individual decision. The scale of the problem is another issue, a major size of alternatives, criteria, and decision-makers produce a larger need for these resources. According to [5,6] consensus search in group decision making presents challenges and open questions that must be addressed in the following topics: (1) advice, (2) trust-based consensus, (3) visualization and verbalization of the process, (4) importance of experts, (5) dynamic decision contexts, and (6) persuasion. This paper focuses on topics 1,3,4,5, and 6. We propose a hybrid approach based on [44] to address the issue of dealing with a large group of decision-makers or several stakeholders and then search for the problem consistency changing the minimum number of judgment values, also evaluate the

agreement of their judgments in every pairwise comparison and for the whole model. The evaluation of the agreement level gives a consensus level or level of agreement for every decision-maker, comparing them with all others, later calculates a global consensus index for the problem. Once we calculate the specific pairwise comparisons with higher no-agreement over all 030-T triads (directed triads), a persuasion attempt is performed in these comparisons, trying to change the minimum number of judgments in order to reach an established consensus level. Decision model start using Borda-count and AHP to construct all decision matrices for each decision-maker, given that this work uses AHP, a consistency analysis is performed in every triad of values for all pairwise matrix, based on the work proposed by Kendall and Babington in 1940 “On the method of paired comparisons” and extended by Kulakowski in 2018. This initial approach for improving consistency consists is a variation of set covering problem proposed by Karp in 1972 called triad covering problem, and considerate every circular triad as an individual point of consistency (according to the axioms given by Kendall in 1940 and Kulakowski in 2018). The algorithm for performing evaluations in every pairwise comparison matrices first applies triad-census by using PYTHON programming languages, later we evaluate every triad over every pairwise-matrix by using Saaty’s consistency-ratio measure. The validation of this approach is proved with an environmental application for ranking eco-tourism options in Colombian Amazonia dealing with several decision makers.

## 2 Literature review and basic background

The first mathematical approaches of the model of consensus were given by French [29,8]. Later, Harary proposes the use of Markov Chains [24]. Years later, De Groot [10] and French [15] extended the theory of consensus to a more general form. Years later, several models of consensus have been proposed, such as [17,36]. According to [11] “consensus is defined as the total and unanimous agreement of all experts with respect to all possible alternatives.” However, a complete agreement is not always necessary in practice. This has led to the use of consensus soft / measures of consensus [4,7,26,30,39]. According to the theory of soft consensus, we use the classification scheme given by [12] with four main groups. The first one refers to consensus under different preference representation structures, because many models had different presentation structures: a large number of models of consensus have been proposed in the literature for GDM with different preference representation structures (i.e. [30] proposed the use Herrera [25] proposed the use of linguistic preference relationships and also proposed approaches to support consensus and reach incomplete preference relationships, among others). The second group refers to the consensus in MAGDM as follows: decision makers / experts issue value judgments using decision matrices on multiple attributes and alternatives. Fu is the most important author on this subject[21,22,23,19,20]. The third group refers to consensus in dynamic / web contexts, where GDM problems have regular changes over alternatives and experts. In this subject, Pérez et al. [43,42] proposed dynamic consensus models

to manage dynamic changes on a set of alternatives. In addition, Alonso et al. [1] proposed a dynamic model of consensus to address the decision situation in which the participation and contribution rates of experts change dynamically. The last group involves the consensus considering behaviors / attitudes and is related to the models to deal with the reactive attitudes of decision makers (ie, dishonest, incomplete, reactive opinions) Recently, Palomares et al. [41] proposed a framework of consensus new to the GDM with additive preference relationships taking into account non-cooperative behaviors. In addition, Palomares et al. extended the framework of consensus to detect and manage non-cooperative behaviors in the linguistic context.

### 3 Background Influence Analysis

Groups have the potential to produce decisions that are better than individual ones. However, research and history show that groups can make worse decisions than individuals. even in the presence of diversity, strong leadership and unlimited time. The sub-optimality of group decisions has been attributed to several factors including group thinking, social apathy, conformity, wrong competition, and excessive focus on common information. The influence analysis has been developed from the social sciences, being psychology one of the branches that has presented more interest due to an extended use in the dynamics of group decision problems. Its historical evolution is shown below, emphasizing in the end the trend in applications related to multi-criteria analysis. According to [18] during the 1950s, many psychologists followed a research program on communication and social influence that focused on the foundations of power and influence in groups, the structural conditions of groups and the effects of These group conditions in individual and collective results. Later, in the 1970s, interest in the field of group dynamics had begun to diminish. While the increasing use of formal models tilts the field towards a concern with theoretical issues, the field is still far from having an adequate balance between theory, method and data. In the 1990s, [37] had concluded that the most active lines of research in small groups were no longer in social psychology but in organizational psychology. However, even in organizational psychology, there has been a decline in work in human relationships and traditions of group dynamics exemplified by [33]. During the 1990s, more work was done in intergroup relationships, based on social cognition approaches, than in intergroup relationships, in which the structural characteristics of groups are recognized and treated. At the same time, intergroup relationship research moves to other fields of application. The social influence network theory presents a formalization of the social process of attitude changes that develop in a network of interpersonal influence [17,16,18]. [40] suggests, that the emergence of interpersonal influence is among the basic postulates of social psychological theory: *People's attitudes are usually formed in interpersonal settings in which influential positions on issues disagree and may change.* The social influence network (SIN) has been continuously developed since the 1950s by [28,24,9,17]. It is one of the important fields directly

related to group decision making and SNA. In this co-related direction, recent studies on CGDM have been introduced with the incorporation of the theory of social influence, derived from social networks. Brunelli et al. He addressed the evaluation of consensus considering the strengths of the influence of experts in a social network through a measure of centrality of their own vector with a blurred adjacency relationship approach. In [31], a leadership-based consensus procedure was developed, where opinion managers can give advice and influence the formation of a social network's judgment to achieve consensus.

## 4 Methodology

For solve large group decision problems we propose a hybrid methodology based on [44] using Social network analysis, Borda count, analytic hierarchy process (AHP) and consensus analysis. As novelty we include a consistency ratio improvement for AHP matrices. First the AHP technique is applied in order to obtain the weights of all criteria (in addition we apply the consistency improvement here), next we apply de Borda method to obtain the alternatives ordering and finally the consensus analysis based on matrix similarity measures. This work presents as another novelty the development of JULIA programming language package for AHP (see the GitHub repo <sup>4</sup>). The methodology can be seen in the figure 1.

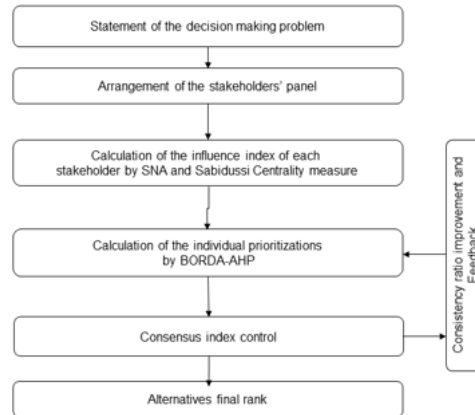


Fig. 1: Step by step methodology

<sup>4</sup> <https://github.com/jorgeiv500/AnalyticHierarchyProcess>

First, we generate the visualization an analysis of data obtained by all decision-makers (D-M). We collect all data by a html questionnaire shared with several D-M, in order to obtain the value-judgments of them. For data visualization and analysis of all decision makers we use JULIA programming language with the packages `Taro`, `DataFrames` and `ExcelReaders`. Second, we assign weights to all criteria using AHP technique. In this stage we also use JULIA programming language with `AnalyticHierarchyProcess` package, created by the authors for applying AHP to all decision makers at the same time. Also, at same time we apply the consistency improvement using PYTHON packages `networkx` and `itertools`. The third and fourth stage are developed also with JULIA, aggregating with arithmetic and geometric mean. A detailed description will be presented in the Solution method section.

#### 4.1 Sabidussi centrality measure

There are many proximity measures, in this work we use the measure [46]. The proximity is calculated as follows:

$$C'_c(n_i) = \frac{g-1}{\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)} \quad (1)$$

Where:  $d(n_i, n_j)$  is the distance between the actor  $n_i$  and the actor  $n_j$ ,  $g$  is the total number of actors in the network. The proximity measure proposed by Sabidussi can be seen as the average inverse distance between the actor (interested party in our problem) and all other actors. Proximity is an inverse measure of centrality in the sense that large numbers indicate that a node is highly peripheral, while small numbers indicate that a node is more central. A lower proximity index of an actor shows a greater importance of this actor. We represent the importance index as the weight  $W_j$  of each actor when normalizing an opposite measure  $I$ , as follows:

$$I = \frac{1}{C'_c(n_i)} \quad (2)$$

Being  $I$  the importance of the actor  $n_i$  represented as the influence on all the actors and  $W_j$  is the weight for each actor.

$$W_j = \frac{I_j}{\sum_j I_j} \quad (3)$$

#### 4.2 Borda count method

This method is based on the idea of assign a weight starting in 1 to  $n$  for the  $n$ th alternatives that we have for the decision making problem, that's why we assign a weight of 12 for the best alternative and 1 to the worst alternative in our decision problem. Once we have the vectors for each criterion we normalize them in order to obtain values  $V_i \in [0, 1]$  whit a sum of components of  $\sum V_i = 1$ . [3]

### 4.3 Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)

Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, was developed by [13,14] based on structural modeling for solving complicated and intertwined problems. According to [38], this method has his core on graph theory which can divide multiple criteria into a cause-and-effect group and the causal relationships in a network. This technique has extended use, so it can calculate the relations between criteria for Analytic-network-problems and other MCDM methods. In this method each node represents an evaluation item (like criteria, people, alternatives, among others), and arcs represent the strength of their relations. First, using a four values scale where every influencing factor is denoted by:

- No influence  $\longrightarrow 0$
- Low influence  $\longrightarrow 1$
- Medium influence  $\longrightarrow 2$
- High influence  $\longrightarrow 3$
- Very high influence  $\longrightarrow 4$

We invite experts denoted as  $H_i$  to obtain the direct influence matrices  $B_H$ . Every decision-maker give their judgments over the evaluation items with the scale presented before.

$$B_H = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} & b_{1n} \\ b_{21} & 0 & b_{2n} \\ x_{n1}^k & x_{n2}^k & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Where  $b_{i,j}$  represents the direct influenced matrix determined by the  $H$ -th expert.

Next, we compute the average matrix as the arithmetic mean of all  $B_H$  matrices.

$$A = [b_{ij}]_{n \times n} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{12}^h & \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{1n}^h \\ \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{21}^h & 0 & \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{2n}^h \\ \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{n1}^h & \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H b_{n2}^h & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Where  $A$  is the average matrix. Then, using eq 6 we normalize the average matrix  $A$ . The normalized initial direct-relation matrix  $R$  can be obtained as follows:

$$R = \frac{1}{v} A \quad (6)$$

Where the normalizing factor  $v$  is given by

$$v = \max_{i,j=1,\dots,n} \left\{ \sum_{j=1}^n b_{ij}, \sum_{i=1}^n b_{ij} \right\} \quad (7)$$

Later, we compute the total relation matrix  $T$ . The powers of  $R$  represent the indirect effects between any factors. A continuous decrease of the indirect effects

of factors along with the powers of matrix  $R$ , such as  $R^2, R^3, R^4, \dots, R^n$  like a Markov chain matrix, guarantees convergent solutions to the matrix inversion. Then, the total relation matrix  $X$  is given as follows:

$$T = R + R^2 + R^3 + \dots = R(I - R)^{-1} \quad (8)$$

Where  $I$  is  $n \times n$  unit matrix.

The total effect that directly and indirectly exerted by the  $i$ th factor, is denoted by  $r_i$ , could be calculated as follows:

$$r_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (9)$$

The total effect including direct and indirect effects received by the  $j$ th factor, is denoted by  $c_j$  could be calculated as follows:

$$c_j = \sum_{i=1}^n t_{ij} \quad (10)$$

**Decision-makers weights calculation** According with [?,?] DEMATEL can be used in order to compute the weights of criteria in MCDM problems as follows.

$$r_i + c_i = t_i^+ = \sum_{j=1}^n t_{i,j} + \sum_{j=1}^n t_{j,i} \quad (11)$$

where  $t_i^+$  represents the importance factor of every evaluated item.

$$r_i - c_i = t_i^- = \sum_{j=1}^n t_{i,j} - \sum_{j=1}^n t_{j,i} \quad (12)$$

where  $t_i^-$  represents the influence factor of every evaluated item.

$$w_i = ((t^+)^2 + (t^-)^2)^{1/2} \quad (13)$$

where  $w_i$  represents euclidean distance of every evaluated factor, and consider the importance  $t_i^+$  and influence  $t_i^-$  of all nodes.

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (14)$$

Finally, we normalize matrix  $w_i$  and obtain the weights for all item under evaluation.



**Proposed method for weighting based on DEMATEL influence  $t_i^-$**   
 Given that we want to see the influence of every DM into all other participants, we propose: from eq 12 obtain influence values of every decision-maker, similar to centrality values we obtain the capacity of change judgments over other decision-makers. Later, we show their similarities with a numeric example in the last section of this paper. We propose only use the influence  $t_i^-$ , as positive values by adding the double of the absolute value from a minimum of all negative values in set  $t_i^-$ .

$$W(t_i) = \begin{cases} \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} & \text{if any } t_i^- \in \{\mathbf{R} < 0\} \\ \frac{t_i^-}{\sum_{i=1}^n t_i^-} & \text{if } t_i^- \in \{\mathbf{R} \geq 0\} \end{cases} \quad (15)$$

where  $W(t_i)$  is the final weight for every decision-maker,  $t_i^-$  is the influence vector and  $\omega_i = t_i^- + 2|\min_{i=1}^n t_i^-|$  are positive values from  $t_i^-$ .

#### 4.4 Analytic hierarchy process

According to Saaty [45] the AHP is a useful tool to structure complex problems that influence multiple criteria and at the same time classify a set of alternatives in order of importance. The logic of the method is: Initially a hierarchical structure is made where the main decision problem is identified, then the criteria and sub criteria that are taken into account for the decision are identified. These criteria are set at levels of importance called hierarchies. The last level corresponds to the set of alternatives that will be evaluated with respect to each of the criteria and sub criteria. This evaluation is carried out through a series of binary comparisons in a matrix  $n \times n$ , where  $n$  is the number of elements to be compared. In order to make the comparison, a scale is required. He proposed a scale between 1 and 9 where each intermediate value has an interpretation for the decision maker.

Table 1: Saaty scale

Relative Intensity	Definition
1	Equal importance
3	Moderate importance of one element over another
5	Strong importance of one element over another
7	Very strong importance of one element over another
9	Extreme importance of one element over another

Values 2, 4, 6 and 8 are intermediate values that can be used in some cases. The next step is to find the relative priorities of the criteria and / or the alterna-

tives. This step is based on the eigenvector theory. For example if a comparison matrix is  $A$ , then:

$$Aw = \lambda_{\max}w \quad (16)$$

Where  $w$  corresponds to the column vector of the relative weights obtained by making the average of each line of the normalized comparison matrix.

The value of  $\lambda_{\max}$  is obtained by adding the column vector corresponding to the multiplication of the original comparison matrix with the column vector of relative weights.

$$\lambda_{\max} = \sum_i^n Aw \quad (17)$$

Because comparisons are made subjectively, a consistency index is required to measure the consistency of the person making the ratings. The consistency index is calculated as follows:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (18)$$

The consistency ratio  $CR$  is calculated as follows:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (19)$$

Where the  $RI$  inconsistency ratio is a comparison constant that depends on the size of the paired comparison matrix for sizes of  $n = 9$  (our criteria x criteria matrix)  $RI = 1.45$

Where  $m$ , is the number of criteria for each decision matrix. Once the index of consensus,  $CI$  is obtained, it is compared with the minimum level of consensus established for the problem,  $CL \in (0,1)$ , which will depend on the type of problem addressed.  $CL$  is a reference value predefined by the moderator and may be different for each problem. A higher  $CI$  means a higher level of consensus for the problem.

#### 4.5 Soft consensus analysis

A consensus process on group decision-making problems is a process whose intention is to reach agreement among those involved, usually with several rounds of discussion where experts (or decision makers) modify their preferences according to the advice given by the facilitator. This study shows the level of agreement with the final decision and the weighting of the criteria through similarity measures in their individual decision matrices. According to cite Chiclana2013, the search for consensus presents challenges in the following areas: Counseling, models based on trust, visualization and verbalization of the process, the importance of experts, dynamic decision and persuasion contexts. This work focuses on the visualization of the process with high volumes of information. Below are the steps of the consensus index proposed by [27] based on the measure of similarity

for the decision matrix of each participant, as explained below. For each pair of experts  $(ek, et)$  ( $k = 1, \dots, m - 1, l = k + 1, \dots, m$ ) a similarity matrix is obtained

$$SM_{ij}^{kl} = (sm_{ij}^{kl}) \quad (20)$$

Comparing each decision matrix of each decision maker with the rest of them as shown below.

$$m_{ij}^{kl} = 1 - |p_{ij}^k - p_{ij}^l| \quad (21)$$

With,  $p_{ij}^I$  is the value of all the alternatives  $A_i$  against the criterion  $C_j$ , that is, the eigenvector, for each decision maker. A consensus matrix  $cm_{ij}$  is calculated, adding similarity matrices using the arithmetic mean as an aggregation function.

$$cm_{ij} = \phi(sm_{ij}^{kl}, k = 1, \dots, m - 1, l = k + 1, \dots, m) \quad (22)$$

Where,  $cm_{ij}$  is the similarity matrix for each decision maker. Once the matrix is calculated, the degrees of consensus are obtained at three different levels.

**a. Level 1** – Consensus degree on pair of alternatives. The consensus index of an expert to the group of experts on the alternative  $x_i$  under criterion  $C_j$  is

$$CE_{ij}^h = cm_{ij} \quad (23)$$

**b. Level 2** – Consensus degree on alternatives. The consensus index of an expert to the group of experts on the alternative  $x_i$

$$CA_i^h = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n CE_{ij}^h \quad (24)$$

**c. Level 3** - Consensus index on the decision matrix

$$CI^h = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m CA_i^h \quad (25)$$

Where  $m$ , is the number of criteria for each decision matrix. Once the consensus index,  $CI$ , is obtained, it is compared with the minimum level of consensus established for the problem,  $CL \in (0, 1)$ , which will depend on the type of problem addressed.  $CL$  is a reference value predefined by the moderator and may be different for each problem. A higher  $CI$  means a higher level of consensus for the problem. Otherwise, we need to give feedback to the decision makers and a new consensus round is applied. Additionally, the consensus model should avoid situations in which the global consensus measure may not converge to the minimum required consensus level. Based on [6] six types of consensus for the consensus index are defined as follows:

Table 2: Scale for consensus achievement

Definition	% Agreement
None	0 – 0.17
Very Low	0.17 – 0.33
Low	0.33 – 0.5
Medium	0.5 – 0.67
High	0.67 – 0.83
Very High	0.83 – 1.0

When  $CI \geq CL$ , the consensus model ends and that alternative that has the highest assessment for the problem about the aggregate decisions of the participants is accepted. Otherwise, feedback should be given to the participants and the entire consensus calculation process on the new assessments is applied again. Based on the review, six types of consensus for this problem are proposed in Table 2. The above scale represents the level of consensus for the problem to be solved, the threshold should be set by the panel of decision makers representing the level of agreement they can achieve.

#### 4.6 Triad census algorithm

The census of triads is performed using the algorithm implemented by [47,2] as can be seen below:

---

##### Algorithm 1 Triad Census algorithm

---

```

1: INPUT:  $G = (V, R) \leftarrow$  relational graph represented by lists of neighbors
2: OUTPUT: table Census with frequencies of triadic types
3: for  $i := 1, 16$  do
4:    $Census[i] := 0;$ 
5:   for all  $v \in V$  do
6:     for all  $u \in \hat{R}(v)$  do
7:       if  $v < u$  then
8:         Begin
9:          $S := \hat{R}(u) \cup \hat{R}(v) \setminus \{u, v\}$ 
10:        if  $vRu \wedge uRv$  then
11:           $TryType := 3$ 
12:        else
13:           $TryType := 2;$ 
14:           $Census[TriType] := Census[TriType] + n - |S| - 2$ 
15:        for all  $w \in S\hat{R}(v)$  do
16:          if  $u < w \vee (v < w \wedge w < u \wedge \neg v\hat{R}w)$  then
17:            Begin
18:             $TriType := TriTypes[Tricode(v, u, w)];$ 
19:             $Census[TriType] := Census[TriType] + 1;$ 

```

---

#### 4.7 Reducing inconsistency for the AHP problem

This improvement is based on the work proposed by Kendall and Babington[34] in 1940 *On the method of paired comparisons* and extended by Kulakowski in 2018 [35]. This initial approach for improving consistency consists in a variation of set covering problem proposed by karp in 1972 [32] called triad covering problem, and considerate every circular triad as an individual point of consistency (according to the axioms given by Kendall in 1940 [34] and kulakowski in 2018 [35] as follows).

**Definition 1** *The generalized tournament (gt-graph) with  $n$  vertices is a triplet  $G = (V, E_u, E_d)$  where  $V = a_1, \dots, a_n$  is a set of vertices,  $E_u \subset 2^V$  is a set of unordered pairs called undirected edges, and  $E_d \subset 2^V$  is a set of ordered pairs called directed edges, so that for every two distinct vertices  $c_i$  and  $a_j$  either  $(a_i, a_j) \in E_d$  or  $(a_j, a_i) \in E_d$  or  $(a_i, a_j) \in E_u$ .  $G$  does not contain loops, i.e. for every  $i = 1, \dots, n$ :  $(a_i, a_i) \notin E_u \cup E_d$*

**Definition 2** *Three mutually distinct vertices  $t = \{a_i, a_k, a_j\} \subseteq V$  are said to be a triad. The vertex  $a$  is said to be contained by a triad  $t = \{a_i, a_k, a_j\}$  if  $a \in t$ . A triad  $t = \{a_i, a_k, a_j\}$  is said to be covered by the edge  $(p, q) \in E_d$  if  $p, q \in t$ .*

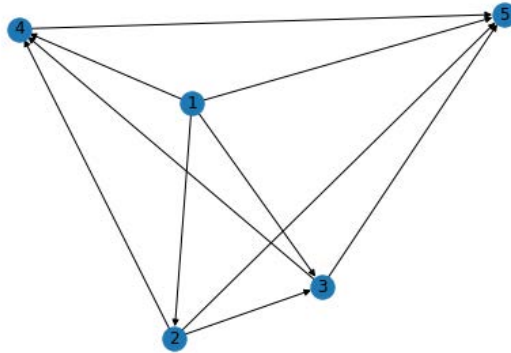


Fig. 2: Directed edges for each triad

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 1 & 5 & 6 & 7 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & 1 & 8 & 9 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & \frac{1}{8} & 1 & 1 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{7} & \frac{1}{9} & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad M' = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & - \end{pmatrix} \quad (26)$$

Consider a square matrix:  $M$ , with directed edges as seen in the matrix  $M'$  of size  $n = 5$  (see fig 2). All the triads of this matrix (see equation 26) are:  $T_i = \{(2,$

3, 5), (1, 2, 3), (1, 3, 5), (1, 4, 5), (1, 2, 4), (1, 3, 4), (2, 4, 5), (3, 4, 5), (2, 3, 4), (1, 2, 5)}. We evaluate every triad for the initial matrix M, let us consider the triplet  $T_1=(2,3,5)$  with components  $(a_{2,3} = 5, a_{2,5} = 7, a_{3,5} = 9)$  have a high inconsistency value of  $CR=0.4037$  expressed by the equation 27 and proved by calculating the consistency ratio for this triad.

$$a_{ij} * a_{jk} \approx a_{ik} \tag{27}$$

According with [35] in a *t-graph* corresponding to a matrix M, the maximal possible number of inconsistent triads that a graph in is given by:

$$I(n) = \begin{cases} \frac{n^3-n}{24} & \text{when } n \text{ is odd} \\ \frac{n^2-4n}{24} & \text{when } n \text{ is even} \end{cases} \tag{28}$$

In the matrix M we evaluates every triad in order to collect all consistency ratios for all problem (see table 3), next we modify the most inconsistent triad in order to reduce inconsistency with the small change over the value judgments  $a_{i,j}$ .

Table 3: All triads and components positions *a* in *M*

	$a_{i,j}$	$a_{i,k}$	$a_{j,k}$	triad	CR
<b>triad 1</b>	12	13	23	1,2,3	0.091
<b>triad 2</b>	12	14	24	1,2,4	0.052
<b>triad 3</b>	12	15	25	1,2,5	0.034
<b>triad 4</b>	13	14	34	1,3,4	0.315
<b>triad 5</b>	13	15	35	1,3,5	0.253
<b>triad 6</b>	14	15	45	1,4,5	0.008
<b>triad 7</b>	23	24	34	2,3,4	0.420
<b>triad 8</b>	23	25	35	2,3,5	0.404
<b>triad 9</b>	24	25	45	2,4,5	0.003
<b>triad 10</b>	34	35	45	2,4,5	0.002

#### 4.8 Case Study in environmental decisions

**Decision-Making Problem Formulation:** The main purpose of this application is the prioritization of alternatives in order to give support and improve the selection of a new place for ecotourism in Colombian Amazonia. A consensus analysis for the decision process is presented as a novelty. We apply an individual survey to collect the judgments of a group conformed by 67 stakeholders including: operators of traditional tours, an expert in conservation projects among others.

**Criteria** The criteria of sustainable tourism according to the World Tourism Organization (UNWTO) were defined as:.

- Poverty alleviation: This criterion refers to the economic growth and decent employment that ecotourism can generate in the region.
- Travel dispersion: Tourism globally affects focusing on the same points. This criterion refers to the influence of ecotourism in this place can disperse tourists from the most specific destinations.
- Carbon emissions: This criterion refers to the importance of mitigating the carbon footprint generated by tourism in the region, given that tourism is an important contributor to global greenhouse gas emissions.
- Efficient use of resources: This criterion refers to the impact of the use of renewable materials and energy in the destination, mainly by the operators of complementary services, such as food and lodging.
- Protected areas: This criterion refers to the relevance of promoting tourism planning in protected areas of the region and compliance with the plans for care of protected areas.
- Gender equality: This criterion refers to the importance of promoting employment and increasing administrative positions for women in the tourism sector in the region.
- Security: This criterion refers to the care of tourists against the risk of dying or suffering injuries from terrorist attacks.

**Alternatives** The possible destinations for ecotourism in Amazonia were established:

- Alternative - Location 1.
- Alternative - Location 2.
- Alternative - Location 3.
- Alternative - Location 4.
- Alternative - Location 5.

**Data management:** The first step is read and order all data from the formulary using two JULIA packages, `ExcelReaders` y `DataFrames`. Two matrices store the value judgments of the decision-makers for criteria (see eq. 29 as an example of judgments over criteria for one decision maker) and alternatives (with a scale 1 to n from Borda Count), respectively. Using the Taro package, these matrices are created on 67 excel books ordered by the decision-maker to individually apply the AHP and carry out the subsequent consistency improvement and finally the consensus analysis.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{3} & 3 & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} \\ \frac{1}{5} & 3 & 1 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} \\ 1 & \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{7} & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 3 & 7 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 3 & \frac{1}{5} & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 7 & 7 & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix} \quad (29)$$

7x4 DataFrames.DataFrame				
Row	x1	x2	x3	x4
1	0.161204	0.109793	0.11734	0.177333
2	0.0501124	0.127188	0.0337937	0.0263998
3	0.0305731	0.0762694	0.142714	0.126728
4	0.256981	0.157862	0.0810574	0.221245
5	0.0878852	0.193993	0.341466	0.206146
6	0.283816	0.239022	0.131108	0.144975
7	0.129429	0.0950734	0.152522	0.0971726

5x4 DataFrames.DataFrame				
Row	x1	x2	x3	x4
1	1.0	0.237739	0.326575	0.328053
2	0.0	0.262363	0.19524	0.232667
3	0.0	0.220018	0.202419	0.180929
4	0.0	0.174627	0.200089	0.184643
5	0.0	0.105253	0.0756783	0.0737066

(a) Data collected from fist decision maker (b) The first 4 DM final ranking with arithmetic mean

Fig. 3: Example of data collected from HTML survey format.

**Decision-Making Problem solution:** For SNA analysis their importance is calculated by Sabidussi centrality/proximity measure. Once we have the Sabidussi centrality  $C_i$  we apply the eq.2 and 3 in order to calculate the weight (importance) for every decision maker. Next, we apply DEMATEL also starting from matrix D, next using eq 6 we obtain the direct relations matrix, then we also get the total relation matrix T from eq 8. Finally we apply the proposed dematel in order to calculate the weights over all decision-makers.

Next, the 67 excel books are taken as input for the criteria matrices  $n=7$  and the ranking of the alternatives. A printed example for the matrices and final ranking for every DM can be seen in Figure 3 as follows. Using the PYTHON package `networkx` and `itertools` we get 35 triads  $T_i = \{(3, 4, 6), (1, 4, 7), (2, 3, 5), (3, 4, 7), (2, 3, 6), (1, 4, 5), (2, 3, 7), (1, 4, 6), (2, 6, 7), (5, 6, 7), (2, 4, 5), (3, 6, 7), (2, 4, 7), (2, 4, 6), (1, 2, 3), (1, 6, 7), (1, 2, 4), (2, 5, 6), (4, 5, 6), (1, 2, 5), (2, 5, 7), (1, 3, 7), (4, 5, 7), (1, 2, 6), (1, 5, 7), (1, 3, 6), (1, 2, 7), (3, 5, 7), (1, 5, 6), (1, 3, 5), (3, 5, 6), (1, 3, 4), (3, 4, 5), (2, 3, 4), (4, 6, 7)\}$  and using the package `AnalyticHierarchyProcess` get the CR for every triad and ordering as can be seen in Tables 4a,4b and 4c.

As we can see in Table 4, 26 of 35 triads are inconsistent (greater than 5% of CR), the triads are ordered from greatest to least inconsistency and changes are made in the valuations with the decision maker in order to make the minimum possible changes to reduce the inconsistency. In order to reduce inconsistency we apply the procedure for reducing inconsistency in AHP proposed in section 4.5 over matrix in eq. 29. First we make a simple heuristic search for change the values in the most inconsistent triads (3,4,6) (1,4,7) and (2,3,5). This three triads had the initial CR values of 3.6, 2.8 and 1.7 and correspond to values over



Table 4: Total Inconsistency in all triads for matrix A over one decision maker

(a) Most inconsistent triads 1		(b) Most inconsistent triads 2	
Triad	CR	Triad	CR
(4, 5, 6)	3.650063352	(1, 4, 7)	0.28892718
(2, 4, 7)	2.881131112	(1, 4, 6)	0.28892718
(2, 4, 6)	1.784091496	(1, 5, 6)	0.28892718
(4, 5, 7)	1.630698487	(1, 3, 4)	0.28892718
(3, 4, 7)	1.609648247	(2, 3, 7)	0.13489212
(1, 2, 4)	1.152423545	(4, 6, 7)	0.13359133
(3, 4, 6)	0.868744836	(2, 3, 6)	0.13196891
(2, 3, 4)	0.546074941	(1, 6, 7)	0.13093359
(2, 5, 6)	0.527387488	(3, 4, 5)	0.07844866
(1, 4, 5)	0.436331998	(1, 2, 6)	0.07783556
(2, 6, 7)	0.433452908	(3, 5, 7)	0.07783556
(3, 6, 7)	0.433452908	(2, 4, 5)	0.06328718
(3, 5, 6)	0.293948309	(1, 2, 3)	0.06328718

(c) Consistent triads less than 5%

Triad	CR
(2, 3, 5)	0.037225655
(5, 6, 7)	0.028076163
(1, 3, 6)	0.028009278
(1, 3, 5)	0.028009278
(2, 5, 7)	0.012123586
(1, 3, 7)	0.012123586
(1, 2, 5)	0.012123586
(1, 5, 7)	0
(1, 2, 7)	0

positions  $a_{2,4}$ ,  $a_{4,6}$  and  $a_{4,7}$ . In Fig 4 can see the inconsistent triads in yellow and the most inconsistent triads in blue, then changing the values with an heuristic local search over Saaty's Scale [45] from a CR=0.446589104 to CR= 0.105787724 which is consistent with a pwc-matrix of size n=7.

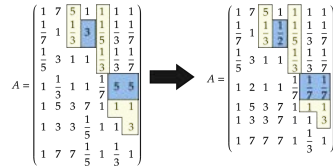


Fig. 4: Inconsistency reduction

## 5 Results

In this paper, a hybrid multi criteria decision-making (MCDM) model combined with soft consensus, Social network analysis-DEMATEL, triad covering problem and AHP have been used to solve a consensus problem in an environmental decision-making problem.

Triad cover problem can be solved by an easy way changing less judgments in order to reduce inconsistency for AHP technique.

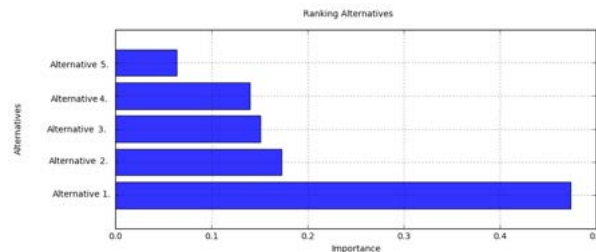


Fig. 5: Final Ranking for the alternatives

## References

1. Alonso, S., Herrera-Viedma, E., Chiclana, F., Herrera, F.: A web based consensus support system for group decision making problems and incomplete preferences. *Information Sciences* **180**(23), 4477–4495 (2010)
2. Batagelj, V., Mrvar, A.: A subquadratic triad census algorithm for large sparse networks with small maximum degree. *Social networks* **23**(3), 237–243 (2001)
3. de Borda, J.C.: *Mémoire sur les élections au scrutin* (1781)
4. Cabrerizo, F.J., Moreno, J.M., Pérez, I.J., Herrera-Viedma, E.: Analyzing consensus approaches in fuzzy group decision making: advantages and drawbacks. *Soft Computing* **14**(5), 451–463 (jun 2009)
5. Cabrerizo, F.J., Chiclana, F., Urena, M., Herrera-Viedma, E.: Challenges and open questions in soft consensus models. In: *2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)*. pp. 944–949. IEEE (2013)
6. Cabrerizo, F.J., Pérez, I.J., Herrera-Viedma, E.: Managing the consensus in group decision making in an unbalanced fuzzy linguistic context with incomplete information. *Knowledge-Based Systems* **23**(2), 169–181 (2010)
7. Chiclana, F., Tapia García, J.M., Del Moral, M.J., Herrera-Viedma, E.: A statistical comparative study of different similarity measures of consensus in group decision making. *Information Sciences* **221**, 110–123 (2013)
8. Coch, L., French, J.R.P.: *Human Relations* (1948)
9. DeGroot, M.H.: Reaching a consensus. *Journal of the American Statistical Association* **69**(345), 118–121 (1974)
10. Degroot, M.H.: Reaching a Consensus Reaching a Consensus (October 2013), 37–41 (2012)

11. Dong, Y., Xu, Y., Li, H., Feng, B.: The OWA-based consensus operator under linguistic representation models using position indexes. *European Journal of Operational Research* **203**(2), 455–463 (2010)
12. Dong, Y., Xu, J., Dong: *Consensus building in group decision making*. Springer (2015)
13. Fontela, E., Gabus, A.: *Dematel, innovative methods* (1974)
14. Fontela, E., Gabus, A.: *The dematel observer* (1976)
15. French, S.: Consensus of opinion **7**, 332–340 (1981)
16. Friedkin, N.E.: *A structural theory of social influence*, vol. 13. Cambridge University Press (2006)
17. Friedkin, N.E., Johnsen, E.C.: Social influence and opinions. *Journal of Mathematical Sociology* **15**(3-4), 193–206 (1990)
18. Friedkin, N.E., Johnsen, E.C.: *Social influence network theory: A sociological examination of small group dynamics*, vol. 33. Cambridge University Press (2011)
19. Fu, C., Huhns, M., Yang, S.: A consensus framework for multiple attribute group decision analysis in an evidential reasoning context. *Information Fusion* **17**, 22–35 (2014)
20. Fu, C., Yang, J.B., Yang, S.L.: A group evidential reasoning approach based on expert reliability. *European Journal of Operational Research* **246**(3), 886–893 (2015)
21. Fu, C., Yang, S.L.: The group consensus based evidential reasoning approach for multiple attributive group decision analysis. *European Journal of Operational Research* **206**(3), 601–608 (2010)
22. Fu, C., Yang, S.: An attribute weight based feedback model for multiple attributive group decision analysis problems with group consensus requirements in evidential reasoning context. *European Journal of Operational Research* **212**(1), 179–189 (2011)
23. Fu, C., Yang, S.: An evidential reasoning based consensus model for multiple attribute group decision analysis problems with interval-valued group consensus requirements. *European Journal of Operational Research* **223**(1), 167–176 (2012)
24. Harary, F.: A criterion for unanimity in french’s theory of social power. (1959)
25. Herrera, F., Herrera-Viedma, E., et al.: A model of consensus in group decision making under linguistic assessments. *Fuzzy sets and Systems* **78**(1), 73–87 (1996)
26. Herrera-Viedma, E., Cabrerizo, F.J., Kacprzyk, J., Pedrycz, W.: A review of soft consensus models in a fuzzy environment. *Information Fusion* **17**(1), 4–13 (2014)
27. Herrera-viedma, E., Alonso, S., Chiclana, F., Herrera, F.: A Consensus Model for Group Decision Making With Incomplete Fuzzy Preference Relations. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* **15**(5), 863–877 (2007)
28. Johnsen, E.: *Studies in multiobjective decision models*. Studentlitteratur Lund (1968)
29. Jr, J.R.P.F.: *A FORMAL THEORY OF SOCIAL POWER*, vol. 194. ACADEMIC PRESS, INC. (1956)
30. Kacprzyk, J., Fedrizzi, M.: A ‘soft’measure of consensus in the setting of partial (fuzzy) preferences. *European Journal of Operational Research* **34**(3), 316–325 (1988)
31. Kamis, N.H., Chiclana, F., Levesley, J.: An influence-driven feedback system for preference similarity network clustering based consensus group decision making model. *Information Fusion* **52**, 257–267 (2019)
32. Karp, R.M.: Reducibility among combinatorial problems. In: *Complexity of computer computations*, pp. 85–103. Springer (1972)
33. Katz, L.: A new status index derived from sociometric analysis. *Psychometrika* **18**(1), 39–43 (1953)

34. Kendall, M.G., Smith, B.B.: On the method of paired comparisons. *Biometrika* **31**(3/4), 324–345 (1940)
35. Kułakowski, K.: Inconsistency in the ordinal pairwise comparisons method with and without ties. *European Journal of Operational Research* **270**(1), 314–327 (2018)
36. Lehrer, K., Wagner, C.: Rational consensus in science and society: A philosophical and mathematical study, vol. 24. Springer Science & Business Media (2012)
37. Levine, J.M., Moreland, R.L.: Progress in small group research. *Annual review of psychology* **41**(1), 585–634 (1990)
38. Lin, C.J., Wu, W.W.: A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications* **34**(1), 205–213 (2008)
39. Loewer, B.: Special issue on consensus. *Synthese* **62**(1), 1–122 (1985)
40. Newcomb, T.M.: *Social psychological theory: integrating individual and social approaches*. (1951)
41. Palomares, I., Estrella, F.J., Martínez, L., Herrera, F.: Consensus under a fuzzy context: Taxonomy, analysis framework AFRYCA and experimental case of study. *Information Fusion* **20**(1), 252–271 (2014)
42. Pérez, I.J., Cabrerizo, F.J., Herrera-Viedma, E.: Group decision making problems in a linguistic and dynamic context. *Expert Systems with Applications* **38**(3), 1675–1688 (2011)
43. Pérez, I.J., Cabrerizo, F.J., Herrera-Viedma, E.: A mobile decision support system for dynamic group decision-making problems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans* **40**(6), 1244–1256 (2010)
44. Romero-Gelvez, J.L., Garcia-Melon, M.: Influence analysis in consensus search—a multi criteria group decision making approach in environmental management. *International Journal of Information Technology & Decision Making* **15**(04), 791–813 (2016)
45. Saaty, T.L., Peniwati, K.: *Group decision making: drawing out and reconciling differences*. RWS publications (2013)
46. Sabidussi, G.: The centrality index of a graph. *Psychometrika* **31**(4), 581–603 (1966)
47. Wasserman, S.F., Faust, K.: K.(1994): *Social network analysis: Methods and applications*. New York: Cambridge University Press. WassermanSocial Network Analysis: Methods and Applications1994

# Apéndice B

## Anexo: Ponencias

Tabla B-1: Ponencias realizadas

Producto	Publicación	Evidencia
Influence Analysis in Group Decision Making. A DEMATEL-SNA Comparison in Environmental Management. Case Study: El Cocuy National Park	Memorias MCDM2015	<a href="http://www.\acrshort{MCDM}society.org/conferences/\acrshort{MCDM}-2015/BOA-24.08.2015.pdf">http://www.\acrshort{MCDM}society.org/conferences/\acrshort{MCDM}-2015/BOA-24.08.2015.pdf</a>
Environmental problem management through multi criteria decision analysis and Social Network Analysis. Case Study: El Cocuy National Park	Memorias EURO2015	<a href="https://www.euro-online.org/media_site/reports/EURO27_AB.pdf">https://www.euro-online.org/media_site/reports/EURO27_AB.pdf</a>
A Set Cover Problem Approach for Improving Consensus and Consistency in Large (AHP) Group Decision Making	Memorias MCDM2019	<a href="https://\acrshort{MCDM}2019.files.wordpress.com/2019/06/book-of-abstracts-web-6.pdf">https://\acrshort{MCDM}2019.files.wordpress.com/2019/06/book-of-abstracts-web-6.pdf</a>



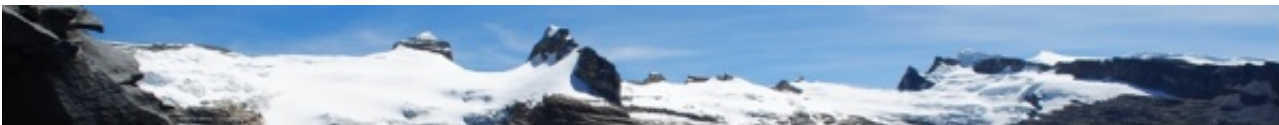
## Apéndice C

### Anexo: Encuesta para el caso de estudio

Test insert - data is collected and labelled as test.



## Priorizacion de problemas - Parque Nacional Natural el Cocuy



### OBJETIVO DE LA ENCUESTA

El objetivo de esta encuesta es recolectar información que permita dimensionar el problema ambiental en el Parque Nacional Natural el Cocuy, Guican y Chita a través de la priorizacion de los problemas del parque; Esta metodología implica el uso de herramientas multicriterio. Este trabajo es un desarrollo únicamente con propósitos académicos y tiene por objetivo diseñar una metodología para ayudar a la gestión de problemas ambientales en parques naturales.

### JUSTIFICACIÓN DE LA ENCUESTA

Esta metodología se justifica en aquellos casos como el que nos ocupa en que no existe una suficiente información cuantificada que nos permita aplicar otros métodos. La metodología utilizada con la información deducida de la encuesta permite cuantificar las variables y llegar al cálculo de un valor final.

### METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología propuesta se basa en el método denominado Proceso Analítico Jerárquico y consiste en obtener unas matrices de comparaciones pareadas utilizando las comparaciones obtenidas entre distintos elementos.

Para esas comparaciones se utiliza la siguiente escala fundamental de comparaciones pareadas (Cortes 2007 citando a Saaty 1994).

- $C_{ij} = 1$ : se considera igualmente importante el criterio  $i$  que el criterio  $j$
- $C_{ij} = 3$ : se considera ligeramente más importante el criterio  $i$  que el criterio  $j$





## Priorizacion de problemas - Parque Nacional Natural el Cocuy

### I. Con cual de los siguientes grupos de interés se identifica?

### 1. Cual grupo de interés considera que podría estar de acuerdo con su opinión y cual no, con respecto a la priorizacion de los problemas del parque?

	Sin acuerdo con su opinion	Nivel de acuerdo bajo con su opinion	Nivel de acuerdo medio con su opinion	Nivel de acuerdo alto con su opinion	Nivel de acuerdo muy alto con su opinion
Uwas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Guardaparques	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Campesinos y ganaderos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Turistas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Academicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### 2. Que objetivo de conservación considera mas importante y con que intensidad?

1=igual importancia 3=Ligeramente mas importante 5=Fuertemente mas importante 7=muy fuertemente mas importante 9=Extremo

\*clomatacion=acumulación de sedimentos \*banco de germoplasma= banco de semillas

9 7 5 3 1 3 5 7 9

<p>A. Conservar la conectividad eco-sistémica en sentido altitudinal desde el bosque basal hasta el casquete nival y en sentido latitudinal al interior de las zonas boscosas y el páramo</p>	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<p>B. Conservar hábitat y poblaciones de especies endémicas, claves y de importancia sociocultural y proteger especies amenazadas, en vía y/o en peligro de extinción.</p>
<p>A. Conservar la conectividad eco-sistémica en sentido altitudinal desde el bosque basal hasta el casquete nival y en sentido latitudinal al interior de las zonas boscosas y el páramo</p>	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<p>C. Mantener la oferta hídrica que alimenta las cuencas de los ríos Nevado, Casanare y Arauca y los bienes de servicios ambientales como regulación climática, bancos de germoplasma.</p>

A. Conservar la conectividad eco-sistémica en sentido altitudinal desde el bosque basal hasta el casquete nival y en sentido latitudinal al interior de las zonas boscosas y el páramo



D. Proteger el territorio Uwa que se traslapa con el Parque.

A. Conservar la conectividad eco-sistémica en sentido altitudinal desde el bosque basal hasta el casquete nival y en sentido latitudinal al interior de las zonas boscosas y el páramo



E. Proteger los valores paisajísticos sobresalientes como el valle de los Cojines y su complejo lagunar, Sierra Nevada, Valle de Lagunillas, Laguna de la Plaza y aquellos con potencial eco-turístico.

B. Conservar hábitat y poblaciones de especies endémicas, claves y de importancia sociocultural y proteger especies amenazadas, en vía y/o en peligro de extinción.



C. Mantener la oferta hídrica que alimenta las cuencas de los ríos Nevado, Casanare y Arauca y los bienes de servicios ambientales como regulación climática, bancos de germoplasma.

B. Conservar hábitat y poblaciones de especies endémicas, claves y de importancia sociocultural y proteger especies amenazadas, en vía y/o en peligro de extinción.



D. Proteger el territorio Uwa que se traslapa con el Parque.

B. Conservar hábitat y poblaciones de especies endémicas, claves y de importancia sociocultural y proteger especies amenazadas, en vía y/o en peligro de extinción.



E. Proteger los valores paisajísticos sobresalientes como el valle de los Cojines y su complejo lagunar, Sierra Nevada, Valle de Lagunillas, Laguna de la Plaza y aquellos con potencial eco-turístico.

C. Mantener la oferta hídrica que alimenta las cuencas de los ríos Nevado, Casanare y Arauca y los bienes de servicios ambientales como regulación climática, bancos de germoplasma.



D. Proteger el territorio Uwa que se traslapa con el Parque.

C. Mantener la oferta hídrica que alimenta las cuencas de los ríos Nevado, Casanare y Arauca y los bienes de servicios ambientales como regulación climática, bancos de germoplasma.



E. Proteger los valores paisajísticos sobresalientes como el valle de los Cojines y su complejo lagunar, Sierra Nevada, Valle de Lagunillas, Laguna de la Plaza y aquellos con potencial eco-turístico.

D. Proteger el territorio Uwa que se traslapa con el Parque.



E. Proteger los valores paisajísticos sobresalientes como el valle de los Cojines y su complejo lagunar, Sierra Nevada, Valle de Lagunillas, Laguna de la Plaza y aquellos con potencial eco-turístico.

### 3. Tomando en cuenta únicamente el objetivo:

**A. Conservar la conectividad eco-sistémica en sentido altitudinal desde el bosque basal hasta el casquete nival y en sentido latitudinal al interior de las zonas boscosas y el páramo**

### Que amenaza considera mas importante y con que intensidad?

1=igual importancia 3=Ligeramente mas importante 5=Fuertemente mas importante 7=muy fuertemente mas importante 9=Extremo

9 7 5 3 1 3 5 7 9

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



4. Pastoreo extensivo en el páramo.

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.



3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos

2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.



4. Pastoreo extensivo en el páramo.

2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.



5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.

2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.



6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos



4. Pastoreo extensivo en el páramo.

3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos



5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.

3. Obras de infraestructura sin

estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos



6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

4. Pastoreo extensivo en el páramo.



5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.

4. Pastoreo extensivo en el páramo.



6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.



6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

**4. Tomando en cuenta unicamente el objetivo:**

**B. Conservar hábitat y poblaciones de especies endémicas, claves y de importancia sociocultural y proteger especies amenazadas, en vía y/o en peligro de extinción**

**Que amenaza considera mas importante y con que intensidad?**

1=igual importancia 3=Ligeramente mas importante 5=Fuertemente mas importante 7=muy fuertemente mas importante 9=Extremo

9 7 5 3 1 3 5 7 9

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



4. Pastoreo extensivo en el páramo.

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.



3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos

2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque



4. Pastoreo extensivo en el páramo.

andino en el sector oriental.		
2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.
2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN
3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	4. Pastoreo extensivo en el páramo.
3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.
3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN
4. Pastoreo extensivo en el páramo.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.
4. Pastoreo extensivo en el páramo.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN
5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

**5. Tomando en cuenta unicamente el objetivo:**

**C.Mantener la oferta hídrica que alimenta las cuencas de los ríos Nevado, Casanare y Arauca y los bienes de servicios ambientales como regulación climática, bancos de germoplasma.**

**Que amenaza considera mas importante y con que intensidad?**

1=igual importancia 3=Ligeramente mas importante 5=Fuertemente mas importante 7=muy

Test insert - data is collected and labelled as test.

9 7 5 3 1 3 5 7 9



1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.
1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos
1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa		

de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	4. Pastoreo extensivo en el páramo.
1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.
1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN
2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos
2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	4. Pastoreo extensivo en el páramo.
2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.
2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN
3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	4. Pastoreo extensivo en el páramo.
3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.
3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN
4. Pastoreo extensivo en el páramo.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.
4. Pastoreo extensivo en el páramo.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN
5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

## 6. Tomando en cuenta unicamente el objetivo:

### D. Proteger el territorio Uwa que se traslapa con el Parque.

### Que amenaza considera mas importante y con que intensidad?

1=igual importancia 3=Ligeramente mas importante 5=Fuertemente mas importante 7=muy fuertemente mas importante 9=Extremo

9 7 5 3 1 3 5 7 9

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



4. Pastoreo extensivo en el páramo.

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.



3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos

2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.



4. Pastoreo extensivo en el páramo.

2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.



5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.

2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.



6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos



4. Pastoreo extensivo en el páramo.

3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos



5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.

3. Obras de infraestructura sin

estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos



6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

4. Pastoreo extensivo en el páramo.



5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.

4. Pastoreo extensivo en el páramo.



6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.



6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

**7. Tomando en cuenta unicamente el objetivo:**

**E. Proteger los valores paisajísticos sobresalientes como el valle de los Cojines y su complejo lagunar, Sierra Nevada, Valle de Lagunillas, Laguna de la Plaza y aquellos con potencial eco-turístico.**

**Que amenaza considera mas importante y con que intensidad?**

1=igual importancia 3=Ligeramente mas importante 5=Fuertemente mas importante 7=muy fuertemente mas importante 9=Extremo

9 7 5 3 1 3 5 7 9

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



4. Pastoreo extensivo en el páramo.

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.

1. Fragmentación socio política de los Uwa, y pérdida de conocimiento tradicional por parte de algunas comunidades uwa



6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.



3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos

2. Tala, quema y rocería para



mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.		4. Pastoreo extensivo en el páramo.
2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.		5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.
2. Tala, quema y rocería para mantenimiento de potreros y cultivos entre el bosque andino en el sector oriental.		6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN
3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos		4. Pastoreo extensivo en el páramo.
3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos		5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.
3. Obras de infraestructura sin estudios de impacto ambiental ni medidas de mitigación (captaciones, canales, puentes, caminos		6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN
4. Pastoreo extensivo en el páramo.		5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.
4. Pastoreo extensivo en el páramo.		6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN
5. Colmatación y desecación acelerada de turberas, lagunas y nacimientos de agua.		6. Turismo mal dirigido en la Sierra Nevada del PNN. El Cocuy La Sierra Nevada del PNN

[Página Anterior](#)

[Última página](#)



# Bibliografía

- Adams, E. and Fagot, R. (1959). A model of riskless choice. *Behavioral Science*, 4(1):1–10.
- Alonso, S., Herrera-Viedma, E., Chiclana, F., and Herrera, F. (2010). A web based consensus support system for group decision making problems and incomplete preferences. *Information Sciences*, 180(23):4477–4495.
- Alonso, S., Pérez, I. J., Cabrerizo, F. J., and Herrera-Viedma, E. (2013). A linguistic consensus model for Web 2.0 communities. *Applied Soft Computing Journal*, 13(1):149–157.
- Aragonés-Beltrán, P., García-Melón, M., and Estruch-Guitart, V. (2015). Analysis of the participation of stakeholders in environmental management based on anp: Application to a spanish natural park. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 7(1).
- Aria, M. and Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An r-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4):959–975.
- Armstrong, R. D., Cook, W. D., and Seiford, L. M. (1982). Priority ranking and consensus formation: The case of ties. *Management Science*, 28(6):638–645.
- Arrow, K. J., Barankin, E. W., and Blackwell, D. (1953). Admissible points of convex sets. In Kuhn, H. W. and Tucker, A. W., editors, *Contributions to the Theory of Games*, volume 2, pages 87–91. Princeton University Press, Princeton N.J.

- Arrow, K. J. et al. (1951). Social choice and individual values.
- Batagelj, V. and Mrvar, A. (2001). A subquadratic triad census algorithm for large sparse networks with small maximum degree. *Social networks*, 23(3):237–243.
- BaykasođLu, A., KaplanođLu, V., DurmuşOđLu, Z. D., and ŞAhin, C. (2013). Integrating fuzzy dematel and fuzzy hierarchical topsis methods for truck selection. *Expert Systems with Applications*, 40(3):899–907.
- Bell, D. E., Raiffa, H., Tversky, A., et al. (1988). Descriptive, normative, and prescriptive interactions in decision making. *Decision making: Descriptive, normative, and prescriptive interactions*, 1:9–32.
- Belton, V. and Stewart, T. (2002). *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Springer Science & Business Media.
- Ben-Arieh, D. and Chen, Z. (2006a). Linguistic-labels aggregation and consensus measure for autocratic decision making using group recommendations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 36(3):558–568.
- Ben-Arieh, D. and Chen, Z. (2006b). Linguistic-labels aggregation and consensus measure for autocratic decision making using group recommendations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 36(3):558–568.
- Bernoulli, D. (1954). Exposition of a new theory on the measurement of risk. *Econometrica*, 22(1):23–36.
- Blackwell, D. (1956). An analog of the minimax theorem for vector payoffs. *Pacific Journal of Mathematics*, 6(1):1–8.
- Blumenthal, A. L. (1977). *The process of cognition*. Prentice Hall/Pearson Education.

- Bod, P. (1963). Linearis programozas tobbn egyidejuleg adott celfüggvény szerint. *Hungarian Academy of Sciences*, (4):541–544.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., and Johnson, J. C. (2018). *Analyzing social networks*. Sage.
- Briskin, L. E. (1966). A method of unifying multiple objective functions. *Management Science*, 12(10):B406–B416.
- Burgman, M. (2005). *Risks and decisions for conservation and environmental management*. Cambridge University Press.
- Cabrerizo, F. J., Alonso, S., and Herrera-Viedma, E. (2009a). A consensus model for group decision making problems with unbalanced fuzzy linguistic information. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 8(1):109–131.
- Cabrerizo, F. J., Chiclana, F., Urena, M., and Herrera-Viedma, E. (2013). Challenges and open questions in soft consensus models. In *2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)*, pages 944–949. IEEE.
- Cabrerizo, F. J., Moreno, J. M., Pérez, I. J., and Herrera-Viedma, E. (2009b). Analyzing consensus approaches in fuzzy group decision making: advantages and drawbacks. *Soft Computing*, 14(5):451–463.
- Cabrerizo, F. J., Moreno, J. M., Pérez, I. J., and Herrera-Viedma, E. (2010a). Analyzing consensus approaches in fuzzy group decision making: Advantages and drawbacks. *Soft Computing*, 14(5):451–463.
- Cabrerizo, F. J., Pérez, I. J., and Herrera-Viedma, E. (2010b). Managing the consensus in group decision making in an unbalanced fuzzy linguistic context with incomplete information. *Knowledge-Based Systems*, 23(2):169–181.

- Cantor, G. (1895). Contributions to the foundation of transfinite set theory. *Mathematische Annalen*, 46:481–512.
- Cantor, G. (1897). contributions to the foundation of transfinite set theory. *Mathematische Annalen*, 49:207–246.
- Ceballos, J., Rodríguez Murcia, C., and Real-Núñez, E. (2012). Glaciares de colombia, más que montañas con hielo. *Bogotá: IDEAM*, page 344.
- Charnes, A. and Cooper, W. W. (1957). Management models and industrial applications of linear programming. *Management Science*, 4(1):38–91.
- Charnes, A. and Cooper, W. W. (1961). Management models and industrial applications of linear programming. Technical report.
- Chiclana, F., Herrera-Viedma, E., Herrera, F., and Alonso, S. (2007). Some induced ordered weighted averaging operators and their use for solving group decision-making problems based on fuzzy preference relations. *European Journal of Operational Research*, 182(1):383–399.
- Chiclana, F., Mata, F., Martínez, L., Herrera-Viedma, E., and Alonso, S. (2008). Integration of a consistency control module within a consensus model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 16(SUPPL. 1):35–53.
- Chiclana, F., Tapia García, J. M., Del Moral, M. J., and Herrera-Viedma, E. (2013). A statistical comparative study of different similarity measures of consensus in group decision making. *Information Sciences*, 221:110–123.
- Churchman, C. W. and Ackoff, R. L. (1954). An approximate measure of value. *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(2):172–187.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., and Herrera, F. (2011). An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the fuzzy sets theory field. *Journal of Informetrics*, 5(1):146–166.
- Coch, L. and French, J. R. P. (1948). Human Relations.
- Condorcet, M. J. et al. (1785). *Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix*, volume 252. American Mathematical Soc.
- Cook, W. D. and Seiford, L. M. (1978). Priority ranking and consensus formation. *Management Science*, 24(16):1721–1732.
- Da Cunha, N. and Polak, E. (1967). Constrained minimization under vector-valued criteria in finite dimensional spaces. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 19(1):103–124.
- Dalalah, D., Hayajneh, M., and Batieha, F. (2011). A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert systems with applications*, 38(7):8384–8391.
- Dantzig, G. B. and Wolfe, P. (1960). Decomposition principle for linear programs. *Operations research*, 8(1):101–111.
- de Borda, J. C. (1781). Mémoire sur les élections au scrutin.
- Debreu, G. (1959a). Theory of value: an axiomatic analysis of economic equilibrium. Technical report, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University, New York.
- Debreu, G. (1959b). Topological methods in cardinal utility theory. Technical report, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University.
- DeGroot, M. H. (1974). Reaching a consensus. *Journal of the American Statistical Association*, 69(345):118–121.

- Degroot, M. H. (2012). Reaching a Consensus Reaching a Consensus. (October 2013):37–41.
- Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics*. OUP USA.
- del Pueblo Colombia, D. (2010). Minería de hecho en colombia. *Bogotá, Colombia*.
- Dinkelbach, W. (1971). Über einen lösungsansatz zum vektormaximumproblem. In Beckmann, M., editor, *Unternehmensforschung heute, Lecture Notes in Operational Research and Mathematical Systems*. Springer-Verlag, Berlin.
- Dinkelbach, W. and Dürr, W. (1972). Effizienzaussagen bei ersatzprogrammen zum vektormaximumproblem. In R Henn, H. K. and Schubert, H., editors, *Operations Research Verfahren*, volume 12, pages 69–77. Verlag Anton Hain, Berlin.
- Dong, Y., Xu, J., and Dong (2015). *Consensus building in group decision making*. Springer.
- Dong, Y., Xu, Y., Li, H., and Feng, B. (2010). The OWA-based consensus operator under linguistic representation models using position indexes. *European Journal of Operational Research*, 203(2):455–463.
- Dyer, J. S. and Sarin, R. K. (1979). Group preference aggregation rules based on strength of preference. *Management Science*, 25(9):822–832.
- Eckenrode, R. T. (1965). Weighting multiple criteria. *Management Science*, 12(3):180–192.
- Edwards, W. (1954). The theory of decision making. *Psychological bulletin*, 51(4):380.
- Edwards, W. (1961). Behavioral decision theory. *Annual review of psychology*, 12(1):473–498.
- Ervural, B. and Kabak, Ö. (2015). A taxonomy for multiple attribute group decision making literature. In *2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, pages 1–8. IEEE.



## BIBLIOGRAFÍA

---

- Escobar, M. and Moreno-Jiménez, J. (1997). Problemas de gran tamaño en el proceso analítico jerárquico. *Estudios de economía aplicada*, 8:25–40.
- Evans, J. P. and Steuer, R. E. (1973). A revised simplex method for linear multiple objective programs. *Mathematical Programming*, 5(1):54–72.
- Fechner, G. T., Howes, D. H., and Boring, E. G. (1966). *Elements of psychophysics*, volume 1. Holt, Rinehart and Winston New York.
- Figueira, J., Greco, S., and Ehrgott, M. (2005). *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*, volume 78. Springer Science & Business Media.
- Fishbein, M. (1975). leek ajzen (1975). *Belief, attitude, intention and behavior: An introduction to theory and research*, pages 181–202.
- Fishbein, M., Triandis, H. C., Kanfer, F. H., Becker, M., Middlestadt, S. E., and Eichler, A. (2001). Handbook of health psychology. *England: Taylor & Francis Group*, pages 3–17.
- Fishburn, P. C. (1965). Independence in utility theory with whole product sets. *Operations Research*, 13(1):28–45.
- Fontela, E. and Gabus, A. (1974). Dematel, innovative methods.
- Fontela, E. and Gabus, A. (1976). The dematel observer.
- Franklin, B. (1772). From benjamin franklin to joseph priestley, 19 september 1772. In Willcox, W. B., editor, *The Papers of Benjamin Franklin, vol. 19, November 1, 1779, January 1 through December 31, 1772,*, page 299–300. New Haven and London: Yale University Press.
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, 1(3):215–239.

- French, S. (1981). Consensus of opinion. 7:332–340.
- Friedkin, N. E. (2006). *A structural theory of social influence*, volume 13. Cambridge University Press.
- Friedkin, N. E. and Johnsen, E. C. (1990). Social influence and opinions. *Journal of Mathematical Sociology*, 15(3-4):193–206.
- Friedkin, N. E. and Johnsen, E. C. (2011). *Social influence network theory: A sociological examination of small group dynamics*, volume 33. Cambridge University Press.
- Fu, C., Huhns, M., and Yang, S. (2014). A consensus framework for multiple attribute group decision analysis in an evidential reasoning context. *Information Fusion*, 17:22–35.
- Fu, C., Yang, J.-B., and Yang, S.-L. (2015). A group evidential reasoning approach based on expert reliability. *European Journal of Operational Research*, 246(3):886–893.
- Fu, C. and Yang, S. (2011). An attribute weight based feedback model for multiple attributive group decision analysis problems with group consensus requirements in evidential reasoning context. *European Journal of Operational Research*, 212(1):179–189.
- Fu, C. and Yang, S. (2012). An evidential reasoning based consensus model for multiple attribute group decision analysis problems with interval-valued group consensus requirements. *European Journal of Operational Research*, 223(1):167–176.
- Fu, C. and Yang, S.-L. (2010). The group consensus based evidential reasoning approach for multiple attributive group decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 206(3):601–608.
- García, J. T., del Moral, M. J., Martínez, M., Herrera-Viedma, E., et al. (2012). A consensus model for group decision making problems with linguistic interval fuzzy preference relations. *Expert Systems with Applications*, 39(11):10022–10030.

- Garfield, E. (2004). Historiographic mapping of knowledge domains literature. *Journal of Information Science*, 30(2):119–145.
- Geoffrion, A. (1948). A parametric programming solution to the vector maximum problem, with applications to decisions under uncertainty. Report 11, Stanford University.
- Goncalves, A. (1985). Group decision methodology and group decision support systems. *Decision Support Systems: The International Journal*.
- Gouran, D. S. (1982). *Making decisions in groups: Choices and consequences*. Pearson Scott Foresman.
- Greco, S., Figueira, J., and Ehrgott, M. (2016). *Multiple criteria decision analysis*. Springer.
- Guha, D. and Chakraborty, D. (2011). Fuzzy multi attribute group decision making method to achieve consensus under the consideration of degrees of confidence of experts' opinions. *Computers & Industrial Engineering*, 60(4):493–504.
- Hanssmann, F. (1962). *Operations research in production and inventory control*. Wiley.
- Harary, F. (1959). A criterion for unanimity in french's theory of social power.
- Hartmann, S., Martini, C., and Sprenger, J. (2009). Consensual decision-making among epistemic peers. *Episteme*, 6(2):110–129.
- Hausdorff, F. (1906). Investigations concerning order types. *Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-Physische Klasse*, 58:106–169.
- Herrera, F., Herrera-Viedma, E., et al. (1996a). A model of consensus in group decision making under linguistic assessments. *Fuzzy sets and Systems*, 78(1):73–87.

- Herrera, F., Herrera-Viedma, E., and Verdegay, J. L. (1996b). A model of consensus in group decision making under linguistic assessments. *Fuzzy Sets and Systems*, 78(1):73–87.
- Herrera, F., Herrera-Viedma, E., and Verdegay, J. L. (1997). A rational consensus model in group decision making using linguistic assessments. *Fuzzy Sets and Systems*, 88(1):31–49.
- Herrera, F., Herrera-Viedma, E., and Verdegay, J. L. (1998). Choice processes for non-homogeneous group decision making in linguistic setting. *Fuzzy Sets and Systems*, 94(3):287–308.
- Herrera-viedma, E., Alonso, S., Chiclana, F., and Herrera, F. (2007). A Consensus Model for Group Decision Making With Incomplete Fuzzy Preference Relations. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(5):863–877.
- Herrera-Viedma, E., Cabrerizo, F. J., Kacprzyk, J., and Pedrycz, W. (2014). A review of soft consensus models in a fuzzy environment. *Information Fusion*, 17(1):4–13.
- Herrera-Viedma, E., Herrera, F., and Chiclana, F. (2002). A consensus model for multiperson decision making with different preference structures. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 32(3):394–402.
- Herrera-Viedma, E., Martinez, L., Mata, F., and Chiclana, F. (2005). A consensus support system model for group decision-making problems with multigranular linguistic preference relations. *IEEE Transactions on fuzzy Systems*, 13(5):644–658.
- Hitch, C. (1953). Sub-optimization in operations problems. *Journal of the Operations Research Society of America*, 1(3):87–99.
- Hoag, M. W. (1956). The Relevance of Costs in Operations Research. *Operations Research*, 4:448–459.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Holsapple, C. W. (1991). Decision support in multiparticipant decision makers. *Journal of Computer Information Systems*, 31(4):37–45.
- Hou, F. (2015). A consensus gap indicator and its application to group decision making. *Group Decision and Negotiation*, 24(3):415–428.
- Hwang, C.-L. and Lin, M.-J. (2012). *Group decision making under multiple criteria: methods and applications*, volume 281. Springer Science & Business Media.
- Hwang, C.-L. and Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making*, pages 58–191. Springer.
- Ijiri, Y. (1965). *Management goals and accounting for control*. North-Holland Amsterdam.
- Jácome-Enríquez, W., Gómez-Navarro, T., and Pachamama-Méndez, R. (2012). Assessing the sustainability of grazing in protected natural areas by means of the anp: A case study in the cotopaxi national park (ecuador).
- Jannach, D., Zanker, M., and Fuchs, M. (2014). Leveraging multi-criteria customer feedback for satisfaction analysis and improved recommendations. *Information Technology & Tourism*, 14(2):119–149.
- Jelassi, T., Kersten, G., and Zionts, S. (1990). An introduction to group decision and negotiation support. In *Readings in multiple criteria decision aid*, pages 537–568. Springer.
- Johnsen, E. (1968). *Studies in multiobjective decision models*. Studentlitteratur Lund.
- Jr, J. R. P. F. (1956). *A FORMAL THEORY OF SOCIAL POWER*, volume 194. ACADEMIC PRESS, INC.
- Jüttler, H. (1967). Lineinaya model' s neskol'kimi tselevymi funktsiyami. *Ekonomika i matematichesie metody*, 3(3):397–406.

- Kacprzyk, J. (1986a). Group decision making with a fuzzy linguistic majority. *Fuzzy sets and systems*, 18(2):105–118.
- Kacprzyk, J. (1986b). Group decision making with a fuzzy linguistic majority. *Fuzzy Sets and Systems*, 18(2):105–118.
- Kacprzyk, J. and Fedrizzi, M. (1988). A ‘soft’measure of consensus in the setting of partial (fuzzy) preferences. *European Journal of Operational Research*, 34(3):316–325.
- Kacprzyk, J., Fedrizzi, M., and Nurmi, H. (1992). Group decision making and consensus under fuzzy preferences and fuzzy majority. *Fuzzy Sets and Systems*, 49(1):21–31.
- Kacprzyk, J. and Zadrozny, S. (2010). Soft computing and web intelligence for supporting consensus reaching. *Soft Computing*, 14(8):833–846.
- Kacprzyk, J., ZADROŻNY, S., and RAŚ, Z. W. (2010). How to support consensus reaching using action rules: a novel approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 18(04):451–470.
- Kahneman, D. (1979). Tversky a.(1979). *Prospect theory: an analysis of decision under risk*, pages 263–292.
- Kahneman, D. and Tversky, A. (2000). Choices, values, and frames.
- Kamis, N. H., Chiclana, F., and Levesley, J. (2019). An influence-driven feedback system for preference similarity network clustering based consensus group decision making model. *Information Fusion*, 52:257–267.
- Karlin, S. (1959). *Mathematical Methods and Theory in Games, Programming and Economics. Vol. 2: The Theory of Infinite Games*. Addison-Wesley Publishing Company.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Karp, R. M. (1972). Reducibility among combinatorial problems. In *Complexity of computer computations*, pages 85–103. Springer.
- Katz, L. (1953). A new status index derived from sociometric analysis. *Psychometrika*, 18(1):39–43.
- Keeney, R. L. (1968). Quasi-separable utility functions. *Naval Research Logistics Quarterly*, 15(4):551–566.
- Keeney, R. L. (2013). Foundations for group decision analysis. *Decision Analysis*, 10(2):103–120.
- Keeney, R. L. and Kirkwood, C. W. (1975). Group decision making using cardinal social welfare functions. *Management Science*, 22(4):430–437.
- Keeney, R. L. and Raiffa, H. (1993). *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. Cambridge university press.
- Kendall, M. G. and Smith, B. B. (1940). On the method of paired comparisons. *Biometrika*, 31(3/4):324–345.
- Kilgour, D. and Eden, C. (2010). Handbook of group decision and negotiation.
- Kim, S. H., Choi, S. H., and Kim, J. K. (1999). An interactive procedure for multiple attribute group decision making with incomplete information: Range-based approach. *European Journal of Operational Research*, 118(1):139–152.
- Klahr, C. N. (1958). Multiple objectives in mathematical programming. *Operations research*, 6(6):849–855.
- Klinger, A. (1964). Vector-valued performance criteria. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 9(1):117–118.

- Köksalan, M., Wallenius, J., and S., Z. (2016). An early history of multiple criteria decision making. In S, G. and M., E., editors, *Multiple Criteria Decision Analysis State of the Art Surveys Second Edition*, pages 3–17. Springer Science+Business Media, New York.
- Köksalan, M. M., Wallenius, J., and Zionts, S. (2011). *Multiple criteria decision making: from early history to the 21st century*. World Scientific.
- Koopman, B. O. (1953). The optimum distribution of effort. *Journal of the Operations Research Society of America*, 1(2):52–63.
- Koopman, B. O. (1956). Fallacies in operations research. *Operations Research*, 4(4):422–430.
- Koopmans (1951). Activity Analysis of Production and Allocation. *The Economic Journal*, 62(247):635–638.
- Krinitzsky, E. L. (1993). Earthquake probability in engineering—part 1: The use and misuse of expert opinion. the third richard h. jahns distinguished lecture in engineering geology. *Engineering geology*, 33(4):257–288.
- Kułakowski, K. (2018). Inconsistency in the ordinal pairwise comparisons method with and without ties. *European Journal of Operational Research*, 270(1):314–327.
- Lee, S. M. (1972). *Goal programming for decision analysis [by] Sang M. Lee*. Auerbach Publishers Philadelphia, 1st ed. edition.
- Lehrer, K. and Wagner, C. (2012). *Rational consensus in science and society: A philosophical and mathematical study*, volume 24. Springer Science & Business Media.
- Levine, J. M. and Moreland, R. L. (1990). Progress in small group research. *Annual review of psychology*, 41(1):585–634.
- Lewicki, S. K. S. and Barcellos, A. (1977). *Negotiation 5E*. Tata McGraw-Hill Education.



## BIBLIOGRAFÍA

---

- Lin, C.-J. and Wu, W.-W. (2008). A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 34(1):205–213.
- Linkov, I. and Moberg, E. (2011). *Multi-criteria decision analysis: environmental applications and case studies*. CRC Press.
- Linkov, I. and Ramadan, A. B. (2004). *Comparative risk assessment and environmental decision making*, volume 38. Springer Science & Business Media.
- Llull, R. (2008). *Blaquerna*. Alacant : Biblioteca Virtual Joan Lluís Vives, 2008.
- Loewer, B. (1985). Special issue on consensus. *Synthese*, 62(1):1–122.
- Lu, J., Ruan, D., Wu, F., and Zhang, G. (2007). An  $\alpha$ -fuzzy goal approximate algorithm for solving fuzzy multiple objective linear programming problems. *Soft Computing*, 11(3):259.
- Mata, F., Martínez, L., and Herrera-Viedma, E. (2009). An adaptive consensus support model for group decision-making problems in a multigranular fuzzy linguistic context. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 17(2):279–290.
- May, K. O. (1954). Transitivity, utility and aggregation in preference patterns. *Econometrica*, 22(1):1–13.
- McCrimmon, K. (1968). Decision making among multiple multi-attributed alternatives: A survey and consolidated approach. Memorandum RM-4823-ARPA, Santa Monica, CA: RAND Corporation.
- McDaniels, T. L., Gregory, R. S., and Fields, D. (1999). Democratizing risk management: Successful public involvement in local water management decisions. *Risk analysis*, 19(3):497–510.

- Miller, D. W. and Starr, M. K. (1969). *Executive decisions and operations research [by] David W. Miller and Martin K. Starr*. Prentice-Hall Englewood Cliffs, N.J, 2d ed. edition.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2):81.
- Mitchell, R. K., Agle, B. R., and Wood, D. J. (1997). Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts. *Academy of management review*, 22(4):853–886.
- Nash Jr, J. F. (1950a). The bargaining problem. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pages 155–162.
- Nash Jr, J. F. (1950b). Equilibrium points in n-person games. *Proceedings of the national academy of sciences*, 36(1):48–49.
- Newcomb, T. M. (1951). Social psychological theory: integrating individual and social approaches.
- Nierenberg, G. (1973). Fundamentals of negotiation. *New York: Hawthorn*.
- Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1):5–21.
- Opricovic, S. and Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by mcdm methods: A comparative analysis of vikor and topsis. *European journal of operational research*, 156(2):445–455.
- Opricovic, S. and Tzeng, G.-H. (2007). Extended vikor method in comparison with outranking methods. *European journal of operational research*, 178(2):514–529.

- Palomares, I., Estrella, F. J., Martínez, L., and Herrera, F. (2014). Consensus under a fuzzy context: Taxonomy, analysis framework AFRYCA and experimental case of study. *Information Fusion*, 20(1):252–271.
- Pareto, V. (1906). Manuale di economica politica, societa editrice libraria. *Manual of political economy*, 1971.
- Parreiras, R. O., Ekel, P. Y., Martini, J. S. C., and Palhares, R. M. (2010). A flexible consensus scheme for multicriteria group decision making under linguistic assessments. *Information Sciences*, 180(7):1075–1089.
- Pérez, I. J., Cabrerizo, F. J., and Herrera-Viedma, E. (2010). A mobile decision support system for dynamic group decision-making problems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 40(6):1244–1256.
- Pérez, I. J., Cabrerizo, F. J., and Herrera-Viedma, E. (2011). Group decision making problems in a linguistic and dynamic context. *Expert Systems with Applications*, 38(3):1675–1688.
- Perez Rincon, M. A. et al. (2015). Injusticias ambientales en colombia: estadísticas y análisis para 95 casos. *Ambiente y Sostenibilidad*, 4:65–78.
- Philip, J. (1972). Algorithms for the vector maximization problem. *Mathematical programming*, 2(1):207–229.
- Pollak, R. A. (1967). Additive von neumann-morgenstern utility functions. *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, pages 485–494.
- Prell, C., Hubacek, K., and Reed, M. (2009). Stakeholder analysis and social network analysis in natural resource management. *Society and Natural Resources*, 22(6):501–518.

- Quesada, F. J., Palomares, I., and Martínez, L. (2015). Using computing with words for managing non-cooperative behaviors in large scale group decision making. In *Granular Computing and Decision-Making*, pages 97–121. Springer.
- Quijano Hurtado, R. et al. (2012). *Diseño e implementación de una plataforma integrada de modelación para la planificación energética sostenible-Modergis—“estudio de caso Colombia*. PhD thesis, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Radzikowski, W. (1967). Die berücksichtigung mehrerer zielfunktionen bei aufgaben der linearen optimierung. *Wirtschaftswissenschaft*, 5:797–806.
- Raiffa, H. (1969). Preferences for multi-attributed alternatives. Memorandum RM-5868-DOT, Santa Monica, CA: RAND Corporation.
- Ramsey, F. P. (1931). Truth and probability”, in the foundation of mathematics and other logical essays. new york, harcourt, brace and co.
- Reed, M. S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: a literature review. *Biological conservation*, 141(10):2417–2431.
- Reed, M. S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., Prell, C., Quinn, C. H., and Stringer, L. C. (2009). Who’s in and why? a typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of environmental management*, 90(5):1933–1949.
- Rodríguez, R., Palomares, I., and Martínez, L. (2014). Attitude-based consensus model for heterogeneous group decision making. In *Knowledge Engineering and Management*, pages 279–290. Springer.
- Romero, C. (1993). *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Number 338 ROM.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Romero, S. B. and Pomerol, J.-C. (1997). *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica*. Universidad de Alcalá.
- Romero-Gelvez, J. I. and Garcia-Melon, M. (2016). Influence analysis in consensus search—a multi criteria group decision making approach in environmental management. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(04):791–813.
- Romero Gelvez, J. I. and Olariaga, O. D. Análisis de consenso multi-criterio grupal en el desempeño operacional de terminales aéreas. caso de estudio colombia.
- Roselló, L., Sánchez, M., Agell, N., Prats, F., and Mazaira, F. A. (2014). Using consensus and distances between generalized multi-attribute linguistic assessments for group decision-making. *Information Fusion*, 17:83–92.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3):234–281.
- Saaty, T. L. (2010). *Mathematical principles of decision making (Principia mathematica decernendi)*. RWS publications.
- Saaty, T. L. (2019). *The Brain: Unraveling the Mystery of how it Works: the Neural Network Process*. Rws Publications.
- Saaty, T. L. and Peniwati, K. (2013). *Group decision making: drawing out and reconciling differences*. RWS publications.
- Sabidussi, G. (1966). The centrality index of a graph. *Psychometrika*, 31(4):581–603.
- Samuelson, P. A. (1938). A note on the pure theory of consumer’s behaviour. *Economica*, 5(17):61–71.
- Saska, J. (1968). Linear multiprogramming. *Ekonomicko-matematicky obzor*, 4(3):359–373.

- Scott, J. and Carrington, P. J. (2011). *The SAGE handbook of social network analysis*. SAGE publications.
- Sen, A. (1970). The impossibility of a paretian liberal. *Journal of political economy*, 78(1):152–157.
- Shannon, C. E. and Weaver, W. (1948). The mathematics theory of communication. *Bell Syst. Tech. J.*, 27:379–423.
- Shapley, L. S. (1959). Equilibrium points in games with vector payoffs. *Naval Research Logistics Quarterly*, 6(1):57–61.
- Shepard, R. N. (1964). On subjectively optimum selection among multiattribute alternatives. In Shelly, M. W. and Bryan, G. L., editors, *Human judgments and optimality*, pages 257–281. Wiley, New York.
- Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The quarterly journal of economics*, 69(1):99–118.
- Slovic, P., Fischhoff, B., and Lichtenstein, S. (1977). Behavioral decision theory. *Annual review of psychology*, 28(1):1–39.
- Steiner, I. D. (1972). *Group process and productivity*. Academic press New York.
- Sun, B. and Ma, W. (2015). An approach to consensus measurement of linguistic preference relations in multi-attribute group decision making and application. *Omega*, 51:83–92.
- Sun, J. and Tang, J. (2011). A survey of models and algorithms for social influence analysis. In *Social network data analytics*, pages 177–214. Springer.
- Surowiecki, J. (2005). *The wisdom of crowds*. Anchor.

- Tavana, M. and Kennedy, D. T. (2006). N-site: A distributed consensus building and negotiation support system. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 5(01):123–154.
- Theofanides, S. (1999). The olympian style of management: The first model of decision making at the top. In *5th International Conference Proceedings: Integrating Technology & Human Decisions—Global Bridges Into the 21st Century*, volume 1, page 780.
- Thurstone, L. L. (1994). A law of comparative judgment. *Psychological review*, 101(2):266.
- Tuckman, B. W. (1965). Developmental sequence in small groups. *Psychological bulletin*, 63(6):384.
- Tversky, A. and Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and uncertainty*, 5(4):297–323.
- Tzeng, G.-H. and Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Chapman and Hall/CRC.
- Tzeng, G.-H. and Shen, K.-Y. (2017). *New concepts and trends of hybrid multiple criteria decision making*. CRC Press.
- Von Neumann, J. and Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press, page 625.
- Wasserman, S. F. and Faust, K. (1994). K.(1994): Social network analysis: Methods and applications. *New York: Cambridge University Press. Wasserman Social Network Analysis: Methods and Applications 1994*.
- Wu, J. and Chiclana, F. (2014). A social network analysis trust–consensus based approach to group decision-making problems with interval-valued fuzzy reciprocal preference relations. *Knowledge-Based Systems*, 59:97–107.

- Wu, J., Chiclana, F., and Herrera-Viedma, E. (2015). Trust based consensus model for social network in an incomplete linguistic information context. *Applied Soft Computing*, 35:827–839.
- Xu, J. and Wu, Z. (2011). A discrete consensus support model for multiple attribute group decision making. *Knowledge-Based Systems*, 24(8):1196–1202.
- Xu, J., Wu, Z., and Zhang, Y. (2014). A consensus based method for multi-criteria group decision making under uncertain linguistic setting. *Group Decision and Negotiation*, 23(1):127–148.
- Xu, Z. (2009). An automatic approach to reaching consensus in multiple attribute group decision making. *Computers & Industrial Engineering*, 56(4):1369–1374.
- Yntema, D. B. and Torgerson, W. S. (1961). Man-computer cooperation in decisions requiring common sense. *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, (1):20–26.
- Yu, P. (1973). Introduction to domination structures in multicriteria decision problems, multiple criteria decision making, jl cochrane and m. zeleny, eds.
- Zadeh, L. (1963). Optimality and non-scalar-valued performance criteria. *IEEE transactions on Automatic Control*, 8(1):59–60.
- Zadrożny, S. and Kacprzyk, J. (2003). An internet-based group decision and consensus reaching support system. In *Applied decision support with soft computing*, pages 263–276. Springer.
- Zanakis, S. H., Theofanides, S., Kontaratos, A. N., and Tassios, T. P. (2003). Ancient greeks’ practices and contributions in public and entrepreneurship decision making. *Interfaces*, 33(6):72–88.



## BIBLIOGRAFÍA

---

Zavadskas, E. K., Turskis, Z., and Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1):165–179.

Zeleny, M. (1974). Linear multiobjective programming. lecture notes in economics and mathematical systems.

Zeleny, M. (1982). Multiple criteria decision making.

Zeleny, M. and Cochrane, J. L. (1973). *Multiple criteria decision making*. University of South Carolina Press.