

Aplicación del VISUAL PROMETHEE : planteamiento y resolución de un problema real de Decisión Multicriterio

Fernández Barberis, Gabriela; ferbar@ceu.es
Escribano Ródenas, María del Carmen; escrod@ceu.es
García Centeno, María del Carmen; garcen@ceu.es
Rodríguez Sánchez, Sonia; sonia.rodriguezsanchez@ceu.es
*Departamento de Matemática Aplicada y Estadística
Universidad San Pablo CEU- Madrid*

RESUMEN

La aparición de nuevas herramientas informáticas en el campo de la Ayuda a la Decisión Multicriterio ha representado un avance sustancial en el manejo y aplicación de distintas metodologías. Aunque, la mayoría de los métodos recogidos en la literatura para resolver problemas multicriterio tienen un software que los respalde y permite al decisor ser parte activa en el proceso de decisión, la vorágine informática en la que estamos inmersos hizo necesaria la actualización de esas herramientas que fueron quedando obsoletas. En este trabajo nos referiremos a la nueva herramienta informática desarrollada para hacer operativos los Métodos PROMETHEE (Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluations) y GAIA (Geometrical Analysis for Interactive Aid). Este nuevo software denominado Visual PROMETHEE comenzó a ser desarrollado hacia el año 2010 con el propósito de reemplazar al DecisionLab 2000 y en el año 2012 fue presentado y aplicado con gran éxito. Para analizar la potencialidad de

esta nueva herramienta lo aplicaremos a un caso real que fue merecedor de un premio y que pretende optimizar la participación española en las operaciones de paz y que se analizó y estudió exhaustivamente haciendo uso del respaldo informático disponible en ese momento, PROMCALC.

ABSTRACT

The emergence of new software tools in Multicriteria Decision Aid has represented a substantial advance in the handling and applications of different methodologies. Although, most of methods included listed found in literature to solve multicriteria problems have software that supports them and allow the decision maker to be an active part in the decision-making process, the computer maelstrom in which we are immersed made it necessary to update these tools that were becoming obsolete. In this paper we refer to the new computer tool developed to make operating the PROMETHEE Methods and the GAIA. This new software called Visual PROMETHEE, began to be developed towards the year 2010 with the purpose of replacing Decision Lab 2000 and in 2012 was presented and applied with great success. To analyse the potential of this new tool we are going to apply it to a real rewarded case that aims to optimize the Spanish participation in peacekeeping operations. This work was widely analysed and studied by using the available computer support at that time, the PROMCALC.

Palabras claves: PROMETHEE-GAIA; decisión multicriterio; robustez; análisis de sensibilidad; ponderaciones; grafos.

Keywords: PROMETHEE-GAIA; Multicriteria decision; robustness; sensibility analysis; weights; graph.

Área temática: A4- Métodos Cuantitativos e Informáticos

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la Ayuda a la Decisión Multicriterio se ha producido un avance sustancial en el desarrollo y aplicación de herramientas informáticas novedosas y que ofrecen un respaldo interactivo muy atractivo, especialmente para el decisor.

Los Métodos PROMETHEE (Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluations) y la Técnica de Modelización Visual GAIA (Geometrical Analysis for Interactive Aid) pertenecen a la familia de Métodos de Relaciones de Superación. Los métodos originales fueron ideados por Jean-Pierre Brans en 1982 y a partir de entonces se fueron sucediendo ampliaciones, modificaciones y mejoras en la metodología. El mismo ritmo de avance fue, paralelamente, experimentado por el software creado al efecto para hacer operativa la metodología.

En el año 1999 un grupo de investigadoras decidimos aplicar la metodología de referencia a un caso real y participar así en la convocatoria del premio General Fernández Chicharro del Ministerio de Defensa (B.O.E 20-2-99). Es, precisamente ese problema denominado “Optimización de la intervención de España en Operaciones de Paz” el que analizaremos con la nueva herramienta informática Visual PROMETHEE, que hace su aparición 13 años después, estudiando la forma en que el análisis inicial puede ser notablemente mejorado y en el que el decisor puede considerarse una figura clave en todo el proceso de decisión.

2. BREVE RESEÑA DEL RESPALDO INFORMÁTICO DE LOS MÉTODOS PROMETHEE

Se presentará una breve historia cronológica de los distintos paquetes informáticos que fueron creados para dar respaldo a la metodología de referencia.

En la última década de los 80, Bertrand Mareschal realizó la primera implementación del **PROMETHEE** en la Universidad Libre de Bruselas en un ordenador central en FORTRAN. Ese software inicial es completamente diferente al que disponemos en la actualidad.

El software **PromCalc** se desarrolló hacia 1990 como una aplicación MS-DOS por Bertrand Mareschal y Jean-Pierre Brans. PromCalc fue el primer software realmente interactivo y gráfico disponible en el campo de Ayuda a la Decisión Multicriterio.

El software **Decision Lab 2000** ha sido desarrollado a través de un proyecto conjunto entre la Universidad Libre de Bruselas y la compañía canadiense Visual Decision. Decision Lab absorbió las ideas del PromCalc y las implementó en un programa MS Windows.

D-Sight es un software desarrollado en el año 2010 bajo el liderazgo de Yves De Smet de la Universidad Libre de Bruselas. El principal objetivo fue desarrollar negocios y administrarlos mediante **MCDA (Multicriteria Decision Aid)** en una filial denominada Decision Sights.

Smart Picker Pro es un proyecto reciente, 2012, conducido por Philippe Némery. Su software enfatiza el aspecto de clasificación y ordenación.

El desarrollo del **Visual PROMETHEE** comenzó en el año 2010. Fue iniciado por Bertrand Mareschal con el firme propósito de ofrecer un sustituto adecuado para el Decision Lab 2000. La mayor parte de los desarrollos tuvieron lugar entre los años 2011 y 2012. Se pretende enfatizar la calidad y la consistencia de la interface del usuario, los aspectos visuales y la facilidad para el uso y el manejo correcto del software. Asimismo, permite la implementación de los últimos y más avanzados desarrollos en Ayuda a la Decisión Multicriterio.

2.1. Visual PROMETHEE: software para la Ayuda a la Decisión Multicriterio

Visual PROMETHEE es un software para la Ayuda a la Decisión Multicriterio que ha sido diseñado para: evaluar un conjunto de alternativas de acuerdo con criterios múltiples usualmente en conflicto entre sí; identificar las mejores soluciones de compromiso; ordenar las alternativas desde la mejor a la peor; clasificar las alternativas en clases predefinidas; visualizar problemas de decisión o evaluación para comprender mejor las dificultades de adoptar buenas decisiones; alcanzar decisiones de consenso cuando diversos decisores poseen puntos de vista conflictivos, justificar o validar decisiones fundamentándose en elementos objetivos.

Visual PROMETHEE es la implementación de software más reciente, completa y actualizada de los Métodos PROMETHEE y GAIA. Ha sido desarrollada por el Profesor Bertrand Mareschal de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de Solvay de la Universidad Libre de Bruselas y aún continúa en proceso de mejora y experimentación.

La ventana principal ofrece una visión completa del problema con tres secciones perfectamente diferenciadas: información sobre las preferencias, estadísticos importantes y evaluaciones. La mayor parte de la información puede editarse directamente, incluyendo la activación de las alternativas y de los criterios.

La opción del menú más relevante a los efectos de nuestro estudio es la que se refiere a “PROMETHEE y GAIA” pues incluye todos los análisis de resultados disponibles:

- a) Ordenamientos del PROMETHEE: Exposición visual del ordenamiento parcial del PROMETHEE I: la barra izquierda corresponde a los flujos positivos o de salida y la barra derecha a los de entrada o negativos. Exposición visual del ordenamiento completo del PROMETHEE II: el eje vertical corresponde a los flujos netos multicriterio.
- b) Diamante PROMETHEE: Es una visualización combinada de los ordenamientos del PROMETHEE I y II, donde el eje vertical corresponde al flujo neto multicriterio (PROMETHEE II), los flujos de salida y de entrada definen un cono para cada alternativa, una alternativa es preferida a otra si su cono incluyen a los demás, los conos que se intersectan corresponden a alternativas incomparables entre sí. El Diamante permite apreciar más fácilmente la proximidad entre los valores de los flujos. Esta opción es totalmente nueva y no se presentaba en software anteriores, enriqueciendo notablemente el análisis visual.
- c) Arco Iris PROMETHEE: es una visión desagregada del ordenamiento completo del PROMETHEE II.
- d) Tabla PROMETHEE: es una exposición tabular del ordenamiento completo y de los valores de los flujos multicriterio.
- e) Análisis Visual GAIA: En este submenú se observan importantes mejoras que ayudan al decisor a comprender mejor el problema que intenta resolver. Permite

visualizar el análisis GAIA en 3D, así como en 2D con rotación de los ejes en forma alternativa. “El espacio de libertad del decisor” denominado the Decision Maker Brain (PROMETHEE VI) pueden ser visualizado en todas las vistas en 2D.

- f) Perfiles de alternativas: muestra los flujos netos unicriterio para una alternativa seleccionada.
- g) GAIA Webs: esta opción es totalmente novedosa. Combina la clásica visualización de telaraña con los resultados del análisis GAIA. Admite el control de la apariencia opcional del eje de decisión PROMETHEE (eje Phi): el eje de decisión aparece dibujado en color verde cuando el flujo neto multicriterio de una alternativa es positivo y en rojo cuando es negativo, un círculo punteado es dibujado para indicar el valor del flujo neto multicriterio.
- h) Pesos Caminantes: consiste en un análisis de sensibilidad de pesos o ponderaciones de carácter interactivo. Es realmente curioso ver como se van acompasando entre sí las ponderaciones y todo el análisis se hace en tiempo real.
- i) Intervalos de Estabilidad Visual: El intervalo de estabilidad de pesos para el criterio seleccionado puede ser visualizado como una barra azul en la parte inferior de la ventana y dos líneas de puntos verticales. Los valores correspondientes de los pesos son expuestos en la parte inferior de la ventana. Los intervalos de estabilidad de pesos pueden computarse para distintos niveles de estabilidad deseados.
- j) Análisis de desempeño: Este nuevo desarrollo hace posible la evaluación del desempeño relativo de cada alternativa sobre la base de dos clústeres de criterios (input y output). Se ofrecen dos resultados: una ratio agregada output/input fundamentada en los flujos netos del PROMETHEE, y una representación visual de las calificaciones (marcas alcanzadas) de outputs e inputs que identifican a las alternativas eficientes.
- k) Flujos de Preferencia, con dos opciones: visualización de los flujos netos unicriterio y de los flujos multicriterio tanto de salida como de entrada.

Adicionalmente a los análisis comentados, el nuevo software ofrece la posibilidad de extender el estudio a decisiones de grupo a través de la aplicación GDSS (Group Decision Support System) contenida en la misma hoja de cálculo. De esta forma

permite comparar los ordenamientos individuales del PROMETHEE II uno al lado del otro o bien todos conjuntamente.

Finalmente, haremos referencia al Sistema de Información Geográfica (GIS), opción totalmente novedosa que da acceso a la pantalla PROMap para la geolocalización de los datos. Cada alternativa puede ser geográficamente localizada usando la interface Google Maps. Actualmente tres opciones de visualización están disponibles y el tamaño de los símbolos del PROMETHEE y GAIA pueden ajustarse desde S a XL.

3. APLICACIÓN DEL VISUAL PROMETHEE A UN CASO REAL: “OPTIMIZACIÓN DE LA INTERVENCIÓN DE ESPAÑA EN OPERACIONES DE PAZ”

El caso que vamos a estudiar, aplicando el software de referencia, fue objeto de un concienzudo estudio que dio lugar a la obtención de un Premio y a la publicación de algunos artículos (Escribano; Fernández; Calvo; García; 2000). Para conocer en detalle el problema original, se recomienda la lectura del artículo que surgió como respuesta a la convocatoria de la Red Temática Multicriterio para realizar un libro divulgativo de las posibles aplicaciones de la decisión multicriterio (Fernández; Escribano; 2004).

El modelo que se eligió se hizo teniendo en cuenta la situación de las Operaciones de Paz y la participación española en ellas, allá por el año 1999. El modelo, junto con las evaluaciones de los criterios para cada alternativa están abiertos a cualquier cambio y pueden ser valorados con otros datos diferentes. Por ello tuvo que procederse a la actualización de los criterios cuya valoración venía reflejada en pesetas y efectuar la correspondiente conversión a euros. La metodología utilizada nos ha permitido realizar un análisis desde diferentes puntos de vista, que aún hoy, con el nuevo soporte informático, mantenemos y hemos podido enriquecer notablemente. Una vez establecido el modelo, las posibles alternativas y los criterios de evaluación, se ha realizado el estudio de cinco escenarios diferentes: desde el punto de vista de un decisor que expresa la misma preferencia por todos los criterios, de un economista, de un político, de un ecologista y de un militar. Los cinco escenarios analizados ofrecen

diferentes ordenamientos parciales, incluyendo alternativas incomparables, así como los respectivos ordenamientos totales.

La ventaja que ofrece el nuevo software es que resulta mucho más interactivo y proporciona ayuda on line al decisor en cada etapa del proceso de decisión. Así por ejemplo, le aconseja cuales son las funciones de preferencia o criterios generalizados recomendados para cada criterio original; le asesora en el tratamiento de las ponderaciones; le permite visualizar su espacio de libertad de decisión, etc. De esta forma el propio decisor se encuentra más motivado y colabora activamente con el analista para llegar a la mejor solución de compromiso

3.1. Modelo

El modelo elegido se adapta a la metodología clásica de decisiones multicriterio y trata de optimizar la intervención de España en operaciones para el mantenimiento de la paz, logrando mayor eficiencia en la adopción de decisiones tanto para nosotros como país participante que pretende colaborar en el mantenimiento de la paz, como para el país en el cual se produzca el conflicto.

En el año en que se abordó el problema, el modelo se eligió teniendo en cuenta la realidad de las Operaciones de mantenimiento de Paz en el mundo, y la participación española en ella. No obstante, se hizo lo bastante genérico como para poder adaptarse a cualquier situación posterior que se presentara.

Dado que nuestro objetivo era construir un modelo adaptable a cualquier posible situación real, hemos supuesto una operación de mantenimiento de la paz con el envío de fuerzas, constituido de la siguiente manera en cuanto a número de personas: Ejército de Tierra: 1500; Ejército del Aire: 200; Fuerzas Armadas: 600; Otras Fuerzas: 75; Observadores y verificadores: 10; Diplomáticos: 3; Médicos: 8; Personal dedicado a la ayuda humanitaria: 200.

Este número de personas se ha estimado según los informes publicados por el Ministerio de Defensa, de acuerdo con los efectivos enviados en las últimas operaciones de paz, en las que España había participado.

Las alternativas que se consideraron son las siguientes: A₁: Envío de observadores y verificadores (civiles y militares); A₂: Envío de diplomáticos; A₃: Participación de la

Armada; A₄: Participación del Ejército de Tierra; A₅: Participación del Ejército del Aire; A₆: Envío de personal médico, ayudantes técnicos sanitarios (a.t.s.), hospital de campaña y material sanitario; A₇: Participación de otras fuerzas especiales; A₈: Ayuda humanitaria.

Los criterios, algunos de los cuales se encuentran en conflicto entre sí, son los siguientes (indicamos si para optimizar se trata de un objetivo a maximizar o a minimizar): G₁: Minimizar la pérdida de vidas humanas (bajas) y la inseguridad que amenaza a civiles, militares (heridos) y a los distintos materiales; G₂: Minimizar el coste financiero del envío de personal; G₃: Minimizar el período de tiempo de la participación de cada uno de los efectivos enviados a la zona de conflicto; G₄: Minimizar el coste de material utilizado: médico, militar de los tres ejércitos, de construcción,...; G₅: Maximizar la mejora de la opinión de los españoles respecto a la presencia en este tipo de operaciones; G₆: Maximizar la mejora de la imagen de la presencia española en la zona en conflicto; G₇: Minimizar el impacto medioambiental.

La realización de la evaluación de las distintas alternativas bajo los distintos criterios demandó mucho trabajo y tiempo. Para los criterios cualitativos se establecieron escalas ordinales, y para los criterios de carácter cuantitativo escalas cardinales. Antes de analizar los diferentes casos, es necesario tener en cuenta que, dependiendo de cuál sea el decisor en cada situación, éste asignará una mayor importancia a unos criterios u otros.

Tabla I: Matriz de Decisión Multicriterio

	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ponderaciones igua..	Pérdida de vi..	Coste Financ..	Tiempo de P..	Coste de ma..	Opinión de lo..	Imagen de la..	Impacto Med..
Unidad	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Grupo	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferencias							
Min/Max	min	min	min	min	max	max	min
Peso	14,29	14,29	14,29	14,29	14,29	14,29	14,29
F. de Preferencia	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal
Umbrales	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto
- Q: Indiferencia	1	20573762,375	1	16741025,152	1	1	3
- P: Preferencia	2	41443126,772	3	36576031,165	3	2	7
- S: Gaussiano	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Estadísticas							
Mínimo	1	39839,20322	6	0,00000	1	1	1
Máximo	4	23201499,970	10	32089254,210	5	5	9
Media	2	6455777,4562	9	9403960,4911	3	3	4
Desv. est.	1	9109045,5067	1	14070385,262	1	1	3

Evaluaciones								
✓	Envío Observado...	2	132717,34570	6	0,00000	2	4	1
✓	Envío Diplomáticos	1	39839,20322	10	0,00000	1	4	1
✓	Armada	2	23201499,970	8	31126057,480	3	3	8
✓	Ejército de Tierra	4	59100269,990	8	42734901,300	3	3	8
✓	Ejército del Aire	3	18060640,790	8	32089254,210	3	3	9
✓	Personal médico ...	2	106197,87600	10	100497,99000	4	1	2
✓	Otras Fuerzas Es...	4	995320,09360	10	0,00000	1	3	3
✓	Ayuda Humanitaria	1	2654226,9150	10	2511913,7580	5	5	1

La tabla anterior contiene las evaluaciones en el bloque inferior, que son las mismas para todos los escenarios. En este caso, se expone la tabla completa que corresponde al primer escenario en el que se pondera por igual a todos los criterios. La metodología siempre trabaja con pesos normalizados. No obstante el nuevo software dispone de un menú de ayuda para la determinación de los pesos, pudiendo representarse en dos modos: jerárquico o absoluto. En el modo jerárquico los pesos son asignados a uno de los tres niveles de la jerarquía: superior, donde se asignan pesos a los clústeres; intermedio en el que se asignan pesos relativos a grupos de criterios dentro de cada clúster; o bajo en el que los pesos se asignan a los criterios individuales dentro de cada grupo de criterios. En el modo absoluto, los pesos son asignados

directamente a todos los criterios en forma individual, independientemente de sus grupos de criterios o clústeres. En nuestro estudio aplicaremos los pesos absolutos ya que nos interesa la ponderación al nivel de los criterios individuales, aunque los pesos resultantes de los grupos de criterios y clústeres sean automáticamente computados.

Las ponderaciones para los distintos escenarios analizados aparecen reflejadas en las tablas II y III, que muestran los pesos con los que trabajaremos al utilizar el Visual PROMETHEE, que son los mismos que en modelo original pero adaptados al modo absoluto:

Tabla II: Tabla de pesos o ponderaciones

Criterios	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇
Escenarios							
1. Ponderaciones Iguales	1	1	1	1	1	1	1
2. Economista	1,5	6	2	8	1,5	1,5	1
3. Ecologista	10	4	9	4	2	1,5	1,5
4. Político	2	5	3	2	5	5	1
5. Militar	1	3	5	0,5	5	5	1

Tabla III: Tabla de pesos determinados interactivamente con el Visual PROMETHEE

Criterios	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇
Escenarios							
1. Ponderaciones Iguales	14,29	14,29	14,29	14,29	14,29	14,29	14,29
2. Economista	6,98	27,91	9,30	37,21	6,98	6,98	4,65
3. Ecologista	21,98	8,79	19,78	8,79	4,40	3,30	32,97
4. Político	8,70	21,74	13,04	8,70	21,74	21,74	4,35
5. Militar	4,88	14,63	24,39	2,44	24,39	24,39	4,88

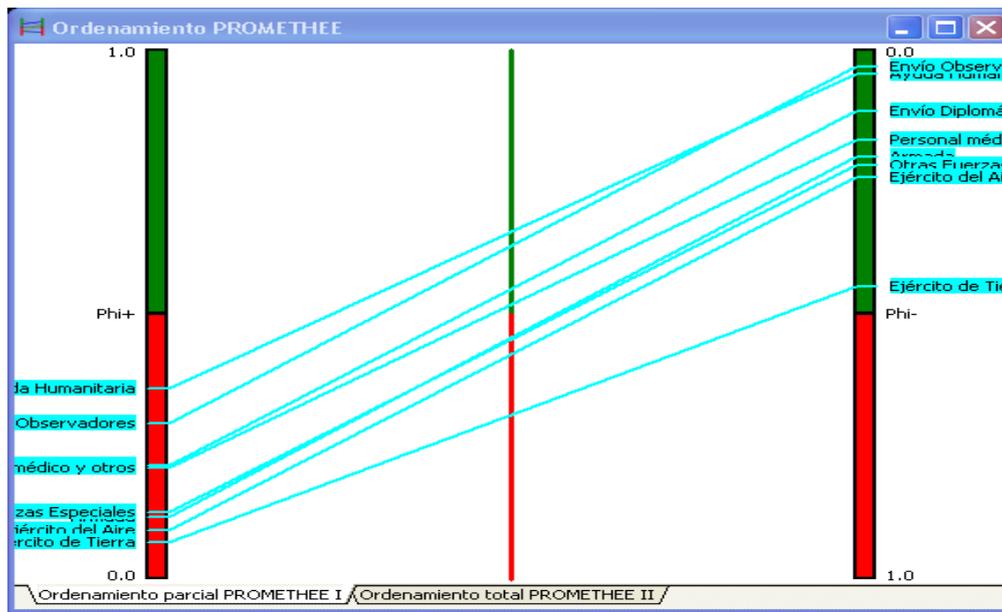
4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA APLICACIÓN DEL VISUAL PROMETHEE

Escenario I: Ponderaciones iguales para todos los criterios.

El decisor asigna la misma importancia relativa a todos los criterios, de forma que se otorga el mismo peso para todos. Tal como se explicó en líneas anteriores, se utiliza el menú de ayuda para la determinación de pesos y se procede a considerarlos en el modo absoluto.

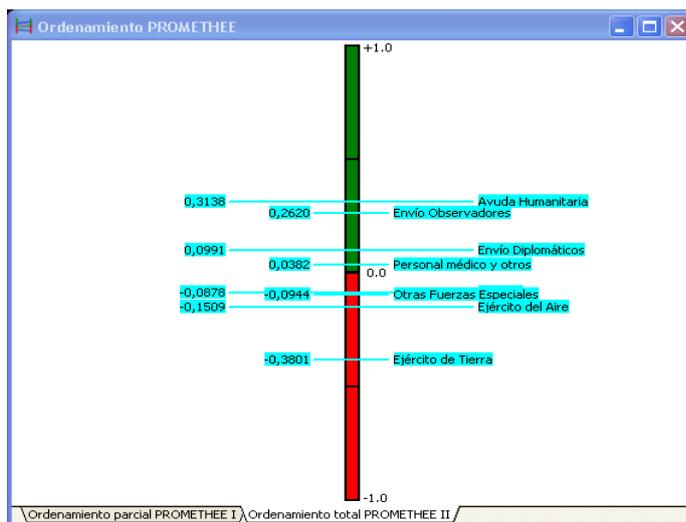
A continuación se exponen algunas de las representaciones más importantes que ofrece el software. Dado que por razones de extensión no es posible incluir las salidas obtenidas para cada uno de los escenarios, se procederá a comentar los del primero y a continuación se irán estudiando los resultados obtenidos en los restantes escenarios.

Figura 1. Ordenamiento Parcial del PROMETHEE I



Visualmente, puede observarse que cuando dos alternativas son incomparables las rectas que las vinculan se intersectan en algún punto. Los valores numéricos de los flujos positivos y negativos pueden apreciarse en la tabla de flujos PROMETHEE.

Figura 2. Ordenamiento Completo del PROMETHEE II



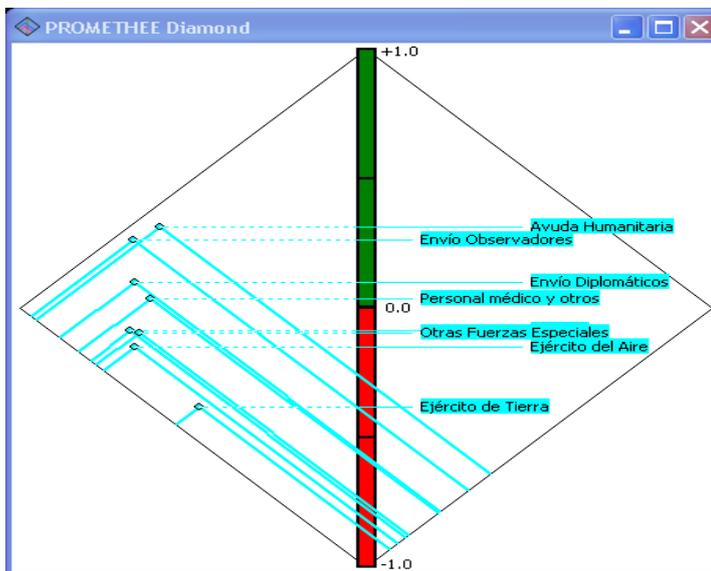
En esta representación desaparecen las incomparabilidades y las alternativas se ordenan desde la mejor a la peor. Como puede observarse, la parte verde del eje vertical representa a los flujos

positivos y la parte roja a los flujos negativos. Se ha producido un balance entre el poder de superación de cada alternativa y su debilidad relativa.

Tabla IV. Tabla de flujos positivos, negativos y netos

Tabla de flujos PROMETHEE				
	Action	Phi	Phi+	Phi-
1	Ayuda Humanitaria	0,3138	0,3591	0,0453
2	Envío Observadores	0,2620	0,2940	0,0320
3	Envío Diplomáticos	0,0991	0,2146	0,1155
4	Personal médico y otros	0,0382	0,2081	0,1699
5	Armada	-0,0878	0,1152	0,2029
6	Otras Fuerzas	-0,0944	0,1249	0,2193
7	Ejército del Aire	-0,1509	0,0900	0,2409
8	Ejército de Tierra	-0,3801	0,0682	0,4482

Figura 3. Diamante PROMETHEE



El Diamante PROMETHEE es una representación bi-dimensional conjunta de los ordenamientos del PROMETHEE I y II. El cuadrado corresponde al plano (Phi+, Phi-) donde cada alternativa está representada mediante un punto. El plano está rotado 45° de forma que la dimensión vertical ofrece el flujo neto Phi. Los valores Phi+ crecen desde la izquierda hacia el ángulo superior y los Phi- decrecen desde la izquierda hacia el ángulo inferior. Para cada alternativa, un cono se traza desde su posición en el plano.

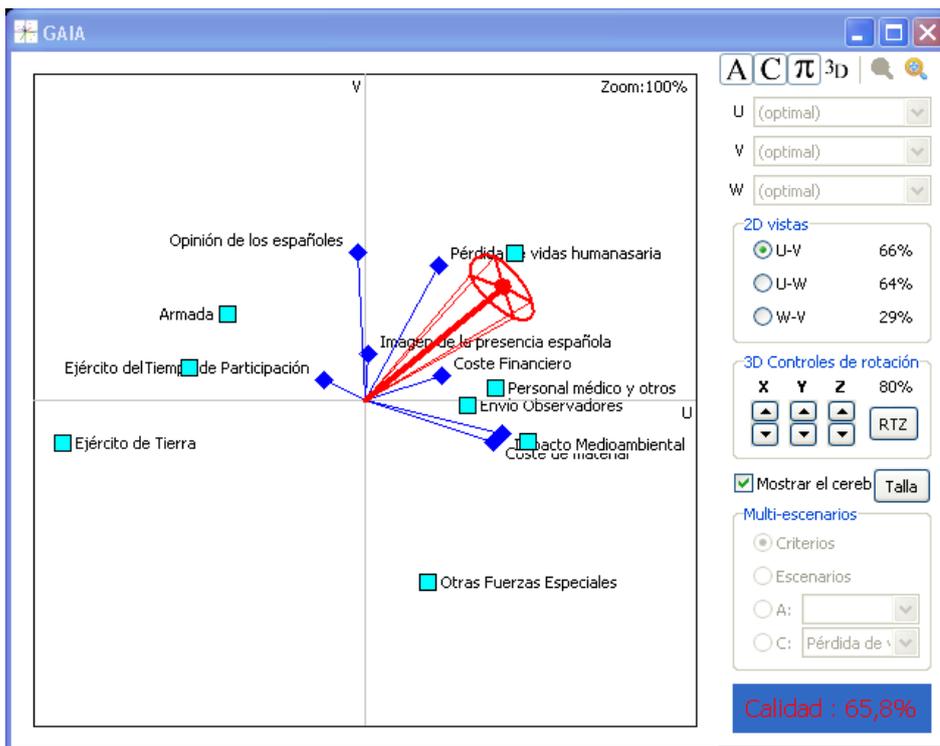
En la figura 4 aparece la red PROMETHEE que es una representación del Preorden Parcial del PROMETHEE I; esta figura guarda bastante analogía con las anteriores representaciones del Decision Lab y del Promcalc, aunque introduce un matiz

Tabla V. Flujos unicriterio

Flujos de Preferencia							
	Pérdida de	Coste	Tiempo de	Coste de	Opinión de	Imagen de la	Impacto
Envío Observadores	0,2114	0,1599	0,7456	0,3570	-0,2115	0,1429	0,4286
Envío Diplomáticos	0,4134	0,1606	-0,3171	0,3570	-0,4915	0,1429	0,4286
Armada	0,2114	0,0417	0,1742	-0,4992	0,0686	0,0000	-0,6112
Ejército de Tierra	-0,6185	-0,9593	0,1742	-0,7143	0,0686	0,0000	-0,6112
Ejército del Aire	-0,2240	0,1401	0,1742	-0,5339	0,0686	0,0000	-0,6815
Personal médico y	0,2114	0,1601	-0,3171	0,3556	0,3543	-0,8596	0,3630
Otras Fuerzas	-0,6185	0,1540	-0,3171	0,3570	-0,4915	0,0000	0,2552
Ayuda Humanitaria	0,4134	0,1429	-0,3171	0,3208	0,6344	0,5739	0,4286

La Tabla V presenta la desagregación de los flujos multicriterio en los distintos flujos unicriterio. Esta información no estaba disponible en software anteriores y suministra una fuente de información muy importante a la hora de determinar los índices de preferencia multicriterio.

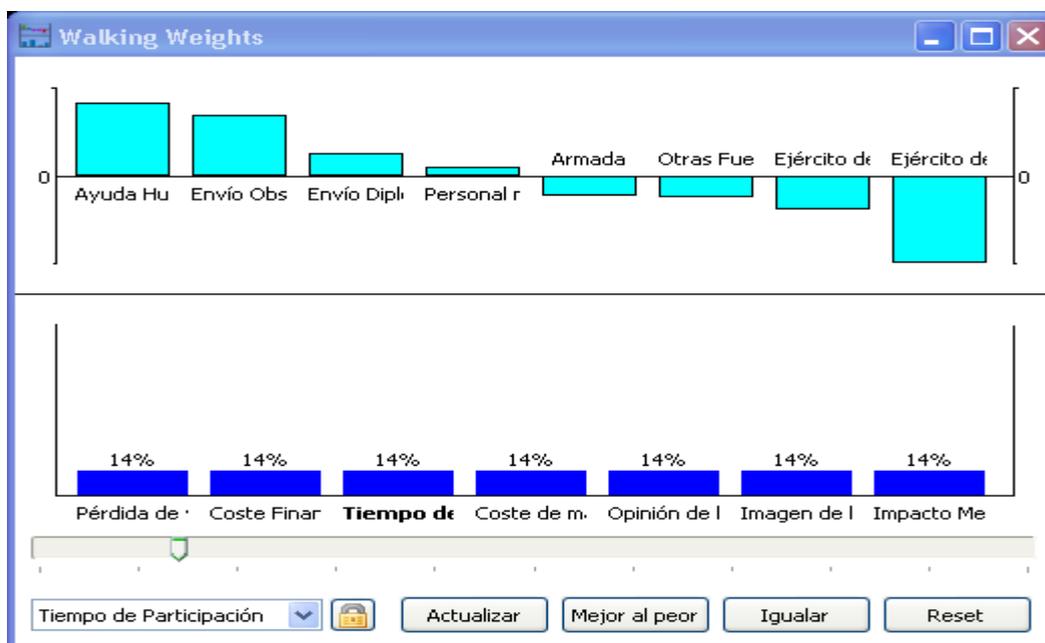
Figura 6. Plano GAIA



En la Figura 6 puede observarse el Plano GAIA. El análisis GAIA es un complemento descriptivo de los ordenamientos del PROMETHEE. Las opciones que ofrece el software aplicado enriquecen notablemente el análisis, ya que si bien el análisis GAIA estándar incluye solamente los ejes U y V, el Visual PROMETHEE

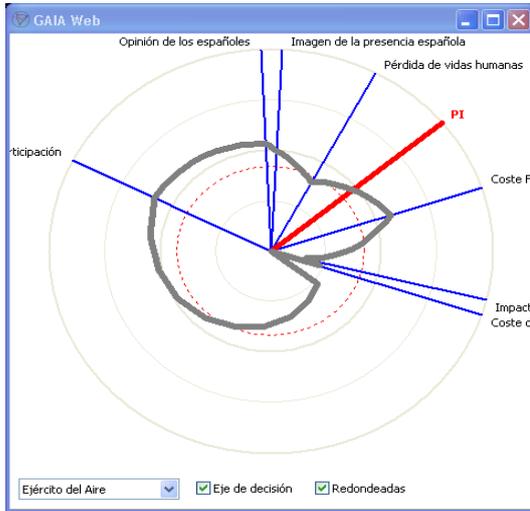
añade un componente V para mejorar el análisis cuando la calidad de la representación (U,V) no es demasiado buena. Se observan además, las alternativas representadas por puntos, los criterios representados por ejes y las ponderaciones de los criterios y el ordenamiento del PROMETHEE II son representados mediante el eje de decisión. Asimismo, puede observarse que en la figura se representa “el espacio de libertad del decisor”, es una opción que ofrece el PROMETHEE VI y que permite controlar el nivel de libertad de los criterios. El nivel de libertad para cada criterio se expresa como un porcentaje, pudiendo fijarse en tres niveles: mínimo, actual, máximo.

Figura 7. Pesos Caminantes



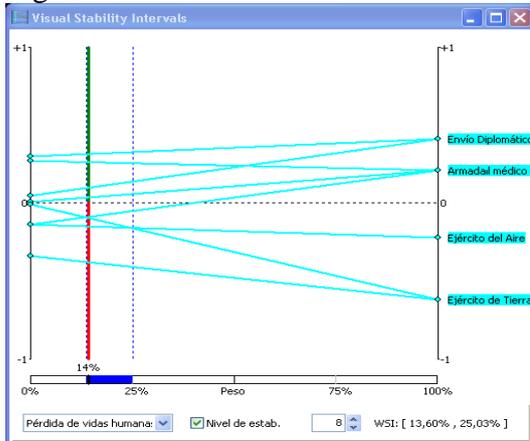
Los Pesos Caminantes permiten cambiar fácilmente las ponderaciones asignadas a los criterios y comprobar el impacto sobre el análisis. En la Figura 7 aparecen dos gráficas: la parte superior muestra las valoraciones de los flujos netos del PROMETHEE II para las alternativas activas y la parte inferior muestra los pesos relativos (porcentuales) de los criterios (o grupos de criterios agrupados o clústeres).

Figura 8. GAIA Web



La figura GAIA Web muestra una representación gráfica de las valoraciones de los flujos netos unicriterio para la alternativa seleccionada. En un diseño de telaraña usual las variables (criterios) son igualmente distribuidas alrededor del centro del dibujo. La forma de telaraña es altamente dependiente del orden arbitrario de los criterios. Puede observarse que los ejes de los criterios están orientados como en el plano GAIA. Además los criterios que expresan preferencias similares se localizan próximos entre sí. La opción “redondeadas” reemplaza las líneas rectas por curvas, permitiendo que la forma se suavice y sea más consistente. La opción del “eje de decisión” muestra la localización del eje de Decisión Phi así como también un círculo punteado correspondiente a la puntuación del flujo neto multicriterio de las alternativas.

Figura 9. Intervalos de Estabilidad Visual



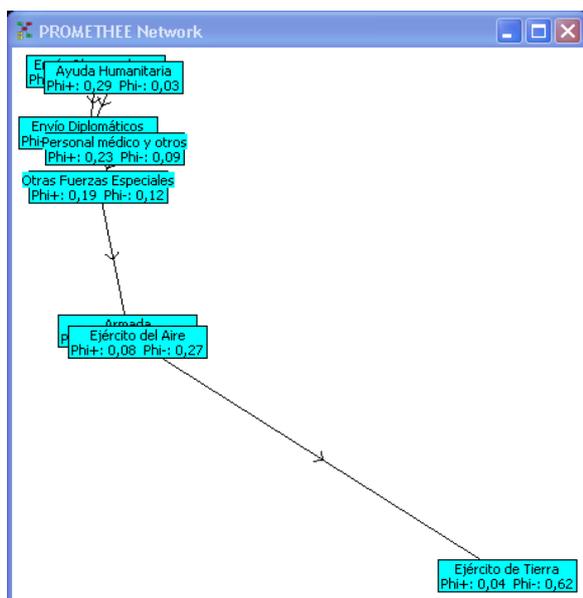
En el submenú correspondiente a los Intervalos de Estabilidad se permite cambiar fácilmente los pesos de los criterios y comprobar el impacto sobre el análisis. La observación visual permite apreciar cómo los valores que adoptan los flujos netos multicriterio cambian como una función del peso de un criterio. En la figura 9 se aprecia que la dimensión horizontal corresponde al peso del criterio seleccionado y la vertical corresponde al valor de su flujo neto. Para cada alternativa se traza una línea que muestra la posición del flujo neto como una función del peso del criterio. En la parte derecha de la figura el peso del criterio es igual al 100% y las alternativas son ordenadas de acuerdo a ese criterio único. Hacia la izquierda de la figura, el peso del criterio es igual a 0%. La posición de la barra vertical verde-roja corresponde al peso actual del criterio. La intersección de las líneas de las alternativas con la barra vertical ofrece el ordenamiento completo del PROMETHEE II

4.1. Resumen de los resultados obtenidos en los distintos escenarios: Ordenamientos Parciales, Ordenamientos Completos, Intervalos de Estabilidad

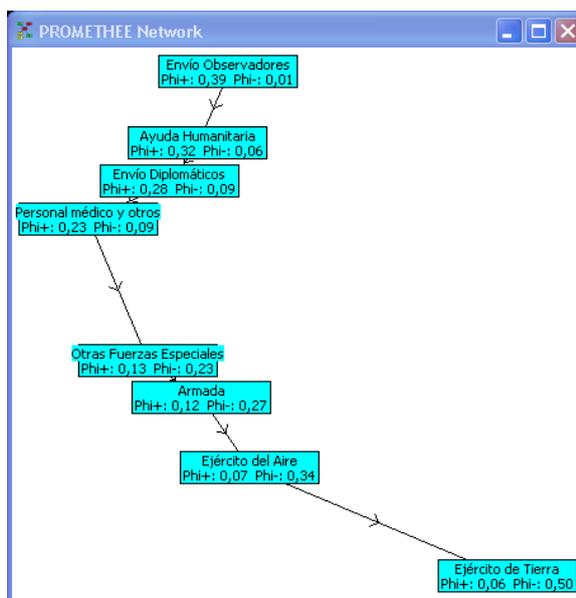
Ordenamientos Parciales del PROMETHEE I

Escenario I (expuesto en la página 15)

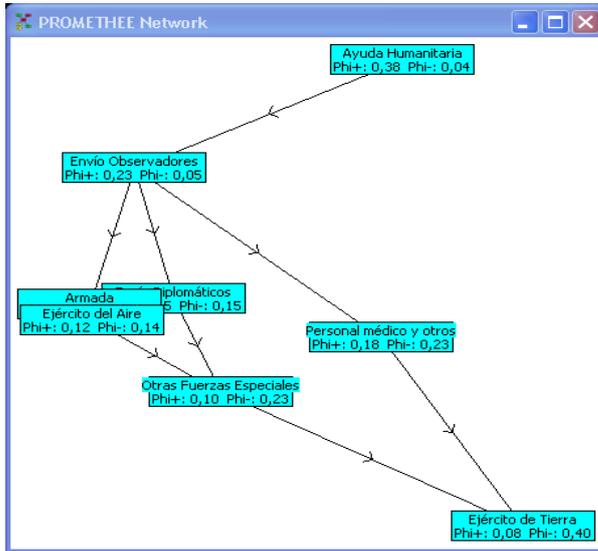
Escenario II: Decisor Economista



Escenario III: Decisor Ecologista



Escenario IV: Decisor Político



Escenario V: Decisor Militar

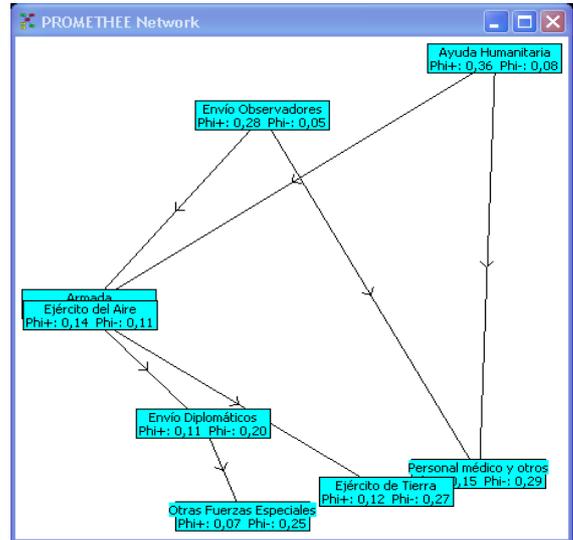


Tabla VII: Ordenamientos Completos del PROMETHEE II

Orden	Pesos Iguales	Economista	Ecologista	Político	Militar
1º	Ayuda Hum.	Env.Observ	Env.Observ	Ayuda Hum.	Ayuda Hum.
2º	Env.Observ.	Ayuda Hum	Ayuda Hum	Env.Observ.	Env.Observ.
3º	Env.Diplom.	Env.Diplom	Env.Diplom	Env. Diplom	Armada
4º	Pers.Médico	Pers.Médico	Pers.Médico	Armada	Ejérc.Aire
5º	Armada	Otras Fzas	Otras Fzas	Ejérc.Aire	Env.Diplom.
6º	Otras FzasEsp	Armada	Armada	Pers.Médico	Pers.Médico
7º	Ejérc. Aire	Ejérc.Aire	Ejérc.Aire	Otras Fzas	Ejérc.Tierra
8º	Ejérc. Tierra	Ejérc.Tierra	Ejérc.Tierra	Ejérc.Tierra	Otras Fzas

Tabla VIII: Intervalos de Estabilidad de Pesos (expresados en porcentaje)

Criterios	Pesos Iguales	Economista	Ecologista	Político	Militar
Pérdida Vidas	[13'60; 25'03]	[2'70; 11'63]	[0; 27'32]	[4'88; 13'51]	[2'81; 19'07]
Coste Financiero	[0; 19'05]	[0; 39'64]	[0; 57'69]	[16'01; 36'35]	[13'27; 16'55]
Tiempo Particip.	[13'12; 18'27]	[8'39; 39'39]	[9'85; 28'65]	[8'53; 14'46]	[20'24; 27'01]
Coste Material	[8'48; 14'94]	[12'20; 82'70]	[1'79; 66'41]	[7'82; 11'12]	[0'80; 4'71]
Opinión Esp.	[13'26; 20'04]	[0; 8'07]	[0; 10'61]	[14'12; 22'86]	[20'77; 28'74]
Imagen Pres. Esp.	[8'74; 25'25]	[4'53; 9'22]	[0; 23'65]	[19'47; 28'02]	[20'28; 25'91]
Impacto Medioa	[8'78; 14'93]	[0; 85'50]	[27'82; 80'55]	[3'59; 6'54]	[3'11; 7'63]

5. CONCLUSIONES

➤ Al comparar los preórdenes parciales obtenidos aplicando el Visual PROMETHEE con los que se habían obtenido en el trabajo inicial mediante el PromCalc, se observa que se han mantenido los mismos resultados en todos los escenarios excepto en el que corresponde al decisor Político en el que, al comienzo del ordenamiento, se produce una Incomparabilidad entre las alternativas Ayuda Humanitaria y Envío de Observadores en lugar de una Preferencia estricta de la primera respecto de la segunda.

➤ Al analizar los preórdenes completos se encuentran algunas variaciones en el interior de los ordenamientos que son debidas a la mayor precisión en la determinación de los pesos y de los umbrales que permite el Visual PROMETHEE. Debe recordarse que en el proceso de elección de las funciones de preferencia (criterios generalizados) asociadas a cada uno de los criterios, se ha utilizado el menú de ayuda para elección de los mismos y la fijación de los umbrales, mientras que en el problema original fueron elaborados directamente por las autoras.

➤ Debido a que las decisiones finales se adoptan en función de los preórdenes completos, dado que tienen en cuenta la comparabilidad de todas las alternativas, se analizarán los distintos escenarios comparando los resultados obtenidos aplicando el PromCalc y los que resultan de aplicar el Visual PROMETHEE.

Escenario I: Cambia el orden de preferencias entre las alternativas: Otras Fuerzas-Ejército del Aire -Armada para pasar a ser: Armada-Otras Fuerzas-Ejército del Aire. Como puede observarse en la Tabla VII, las alternativas que encabezan el ordenamiento así como la que lo finaliza son las mismas que en el modelo original.

Escenario II: Aquí simplemente cambia el orden entre las alternativas: Ejército del Aire-Armada, que se invierte y pasa a ser Armada- Ejército del Aire. El resto del ordenamiento queda exactamente igual no modificándose la conclusión respecto de la mejor y la peor alternativa

Escenario III: En este escenario el preorden completo es exactamente igual aplicando ambas herramientas informáticas.

Escenario IV: El ordenamiento completo se modifica por completo, desde la alternativa que lidera el preorden hasta la última difieren del modelo original. Si se analiza separadamente el preorden parcial, también allí se encuentran leves cambios en las preferencias. El ordenamiento anterior: Observadores-Ayuda Humanitaria-Diplomáticos-Médicos-Otras Fuerzas-Armada-Ejército del Aire-Ejército de Tierra, es sustituido por el siguiente: Ayuda Humanitaria-Observadores-Armada-Ejército del Aire-Diplomáticos-Médicos-Ejército de Tierra-Otras Fuerzas.

Escenario V: En el interior del ordenamiento se producen cambios de forma que las preferencias: Médicos-Otras Fuerzas-Ejército del Aire-Armada pasan a ser: Armada-Ejército del Aire-Médicos-Otras Fuerzas. Las alternativas que lideran el preorden así como la que lo finaliza son las mismas que en el modelo original.

Las modificaciones que se ha producido respecto del modelo original responden, en general, a la mayor precisión con que se efectúa la estimación tanto de los criterios generalizados como de las ponderaciones, utilizando en ambos casos la ayuda interactiva proporcionada por el Visual PROMETHEE.

➤ En la Tabla VIII pueden analizarse los Intervalos de Estabilidad de Pesos. Como puede observarse la mayor estabilidad y por lo tanto mayor robustez en el modelo se verifica para los Decisores Político y Militar, ya que sus intervalos están acotados tanto superior como inferiormente y en ningún caso se alcanza el valor cero en el extremo inferior del intervalo. Puede decirse que esos modelos son perfectamente robustos. En los casos de Ponderaciones iguales y Decisor Economista, los modelos son aproximadamente robustos, pues menos de la mitad de los criterios alcanzan ponderación cero en el extremo inferior de su intervalo de estabilidad. Sin embargo, el modelo del Decisor Ecologista es pseudo robusto dado que hay cuatro criterios de los siete que podrían desactivarse al alcanzar el valor cero como límite inferior de su ponderación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. (1994). "The PROMCALC & GAIA decision support system for multicriteria decision aid. Decision Support System, Vol 12, pp. 297-310.

- BRANS, J.P.; VINCKE, PH (1985). “A preference ranking organization method. The PROMETHEE Method for MCDM”. *Management Science*. Vol.31.Nº 6, PP.647-656.
- ESCRIBANO, M.C.; FERNÁNDEZ, G.; CALVO, M.; GARCÍA, M.C. (2000). “Una aplicación de la metodología multicriterio al área de la Defensa Nacional”. VIII Jornadas ASEPUMA. *Anales de ASEPUMA*, pp. 347-358. Sevilla.
- ESCRIBANO, M.C.; FERNÁNDEZ, G. (2006). “Nuevos Criterios Generalizados para modelar las preferencias del decisor en los Métodos de Relaciones de Superación”. *Revista Rect@*, Vol. 7, Nº 1; pp. 95-117.
- FERNÁNDEZ, G. (1993). “New Preference Structures for Multiple Criteria Decision Making: its extension to PROMETHEE Methods”. *Central European Journal for Operations Research and Economics*. Vol. 21, Nº 1, pp.23-51.
- FERNÁNDEZ, G. (2002). “Una Metodología de Ayuda a la Toma de decisiones Multicriterio Discreta”. *Revista Rect@*. Vol. 1, pp. 5-28.
- FERNÁNDEZ, G.; ESCRIBANO, M.C. (2004).” Aplicación de la Ayuda a la Decisión Multicriterio en el Ámbito de las Operaciones de Paz”. *Libro de Aplicaciones: La aventura de decidir: una aproximación científica mediante casos reales*; Vol. 1; pp. 285-313.
- FERNÁNDEZ, G. (2006). “Robustness Analysis: A powerful tool in the Multiple Criteria Decision Making field”. *Newsletter of the European Working Group Multicriteria Aid for Decision*. Vol. 3, Nº 13; pp. 3-9.
- GARCÍA, M.C.; FERNÁNDEZ, G.; ESCRIBANO, M.C.; CALVO, M. (2000). “Análisis de Robustez aplicado a un problema de Decisión Multicriterio en el ámbito de la Defensa Nacional”. *Actas del Congreso sobre Técnicas de Ayuda a la Decisión en la Defensa*; pp. 399-419. Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica.
- MARESCHAL, B. (1989). “Aide à la décision multicritère : Développements théoriques et application ». *Cahiers du C.E.R.O.*, 31, pp. 13-120.