

9. ANEXOS

9.1 Resumen Ejemplo Guía

Este anexo condensa el ejemplo utilizado como caso Guía utilizado en los capítulos 3, 4 y 5.

El problema que se ocupó como Caso en el presente documento, corresponde a un proyecto experimental realizado por Fulcrum Ingeniería en el año 1995, dentro del plan de inversiones de cuencas hidrográficas, para un préstamo gestionado con el Banco Interamericano de Desarrollo BID. Este problema ha sido modificado para los fines didácticos que persigue el presente documento.

Como una forma de contextualizar el problema, se entrega a continuación una lista de antecedentes de la cuenca asociada a la inversión y la identificación de los problemas existentes:

Antecedentes de la Cuenca:

- Número de habitantes = 590.000
- El 65% de población es urbana y el 35% rural
- La cuenca abarca 1/3 de la superficie total de la región.
- 25% de la población vive en condiciones de extrema pobreza
- El 55% del suelo es apto para actividad forestal, el resto se utiliza para fines agropecuarios

Los principales problemas detectados en la cuenca son:

- Pérdida de cubierta vegetal y erosión de suelos
- Daños por crecidas e inundaciones
- Agotamiento & degradación de recursos hídricos
- Mayor vulnerabilidad frente a situaciones de sequía

La institución mandante presentó como objetivo el siguiente: *“Selección de una cartera de proyectos para mejorar el Bienestar Social en la Cuenca sobre Bases Sustentables”*.

Siendo un objetivo más bien general, se generó el siguiente objetivo de índole operativo, enmarcado por el anterior: *“Priorización de la cartera de proyectos de inversión, maximizando su Eficacia Social, su eficacia ambiental, su eficacia en el manejo de riesgos físicos existentes, y su eficacia en el potenciamiento económico dentro de la cuenca, considerando en forma adicional criterios de maximización sinérgica”*.

Los supuestos del Caso son:

- Los problemas detectados en la cuenca, son los listados en el punto anterior y no otros.
- El equipo de trabajo está calificado para identificar y comparar los criterios presentes en el problema
- La cartera de proyectos es conocida y contempla los detalles necesarios para poder medir sus beneficios esperados
- La información requerida para evaluar los proyectos de la cartera está disponible y al alcance del equipo de trabajo
- Cada uno de los proyectos de la cartera cumplen con los prerequisites establecidos. Es decir, no son proyectos ilegales ni escapan del alcance del objetivo perseguido. (Factibilidad legal de las alternativas).

Asimismo, algunas condiciones de borde del Caso Guía podrían ser:

- El monto de inversión está predefinido y es inferior al monto total de fondos requerido por la cartera la cartera.
- El ranking de proyectos debe ser único. El tener más de un ranking u ordenamiento de cartera, es equivalente a no tener ninguno.

El conjunto de alternativas consideradas, corresponden a proyectos independientes definidos con el objetivo de resolver uno o más de los problemas planteados. En virtud de su diversidad, han sido ordenadas en 6 tipologías distintas de proyectos. A continuación se identifican algunas de ellas como ejemplo y para fijar ideas:

1.- Manejo Forestal de Suelos (MS)

- Programa de recuperación de áreas erosionadas
- Programa de manejo silvo-agropecuario
- Programa de manejo de renovables de bosque nativo
- Programa de desarrollo de campesinos forestales
- Programa de tenencia y derechos sobre árboles y tierras

2.- Gestión de Áreas Silvestres Protegidas (GASP)

- Estudio de incorporación de áreas deficitarias
- Investigación de RRNN e históricos de la Cuenca

3.- Gestión y Protección Forestal (GPF)

- Proyecto de extensión de la legislación forestal
- Proyecto de reforzamiento de las actividades de fiscalización y control de la legislación forestal

4.- Manejo del Fuego (MF)

- Programa de supresión de incendios forestales

5.- Control de Crecidas y Manejo de Cauces (CC)

- Defensas fluviales
- Regulación del uso del cauce
- Sistema de alerta de crecidas

6.- Gestión y Conservación del Recurso Hídrico (GCRH)

- Programa de investigación en cuencas representativas
- Redes de estaciones de monitoreo permanentes.

En total, las alternativas conforman una cartera de 35 proyectos, cada uno de los cuales se ubica en alguno de los grupos anteriormente identificados.

Los actores del caso, correspondieron a representantes de distintas instituciones públicas, donde el equipo de Fulcrum asumió las tareas de conducción metodológica, documentación y liderazgo en las sesiones de trabajo.

En el Caso, la modalidad de medida escogida es AM, ya que, el número de alternativas a ser evaluadas es relativamente alto (35 alternativas) y dado que interesa medir los proyectos en forma separada, para obtener una medida absoluta de su nivel de eficacia en la solución de los problemas de la cuenca, sin dependencia de los otros proyectos definidos. Adicionalmente, porque la medida absoluta entrega la posibilidad de construir umbrales de cumplimiento mínimos para la evaluación del comportamiento de la cartera, importante cuando se desea medir la calidad de una cartera.

El Modelo de Beneficios

Para este problema, se identificaron 5 criterios estratégicos, a saber: eficacia ambiental, eficacia social, eficacia en el manejo de los riesgos, eficacia sinérgica (entre proyectos) y eficacia en el potenciamiento económico.

En complemento, se identificaron 8 criterios intermedios (criterios que poseen subdivisión) y 24 criterios terminales (criterios sin subdivisión ulterior).

Como ejemplo se describe el criterio de eficacia ambiental: el criterio ambiental constituye la forma de medir la eficacia que aporta la alternativa al objetivo en términos de variables ambientales. Las variables que se visualizan como medidores de este criterio estratégico (subcriterios) son:

- a) el contexto natural
- b) el contexto antropológico.

De esta forma, al medir el contexto natural y el antropológico, se logra medir de forma completa (respecto al alcance del problema), el criterio ambiental.

A continuación se presenta el modelo resultante, después de la interacción con los profesionales respectivos.

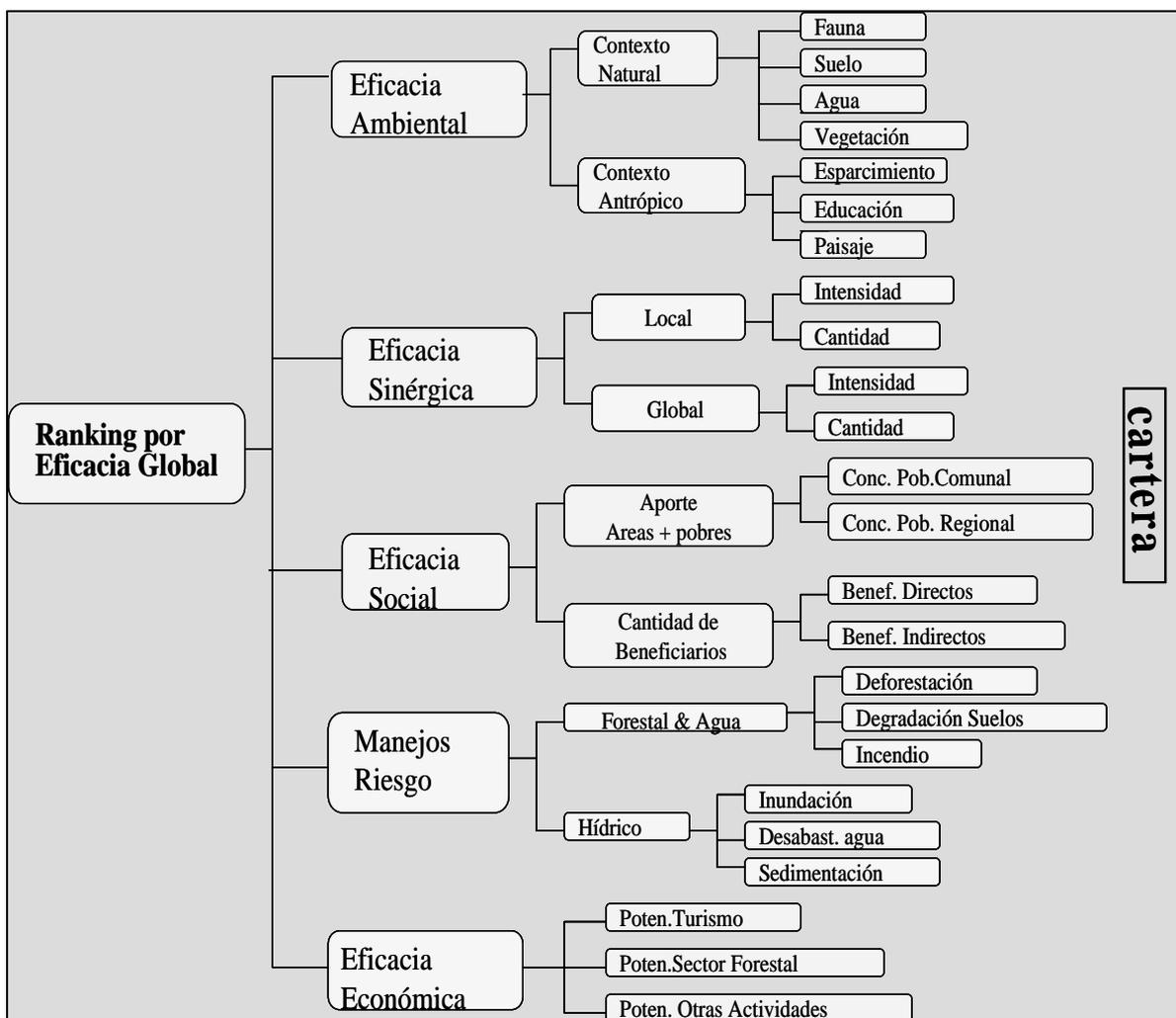


Figura A.1: Modelo de beneficios o eficacia de proyectos

El diagrama A.1 presenta una estructura jerárquica en un despliegue más bien horizontal, para facilitar la lectura de los criterios que lo componen, teniendo en un extremo el objetivo específico del modelo, y en el extremo opuesto, los criterios terminales con sus respectivas escalas. Todos los proyectos de la cartera son analizados por cada uno de los criterios terminales y medidos en las escalas que los especifican.

En este caso, los proyectos de la cartera reciben “puntajes” por cada uno de los conceptos de los criterios terminales, en función de su contribución específica en cada uno de estos conceptos. Notar que los aspectos estratégicos definidos corresponden a “eficacia” o capacidad de resolver problemas según las áreas de análisis definidas. La suma de los ponderadores de los criterios de cada nivel (en términos de pesos globales), suma siempre 1 (100%).

Como ejemplo de este proceso se menciona el caso del criterio ambiental. Inicialmente fue desagregado en conceptos de Flora y Fauna; interacciones posteriores llevaron a una descomposición final en Fauna, elementos vitales como Suelo, Agua y finalmente Vegetación en vez de Flora. Otro ejemplo, se produce en el criterio económico, donde el subcriterio “atractivo de inversión” es reemplazado por un concepto de “desarrollo productivo en bienes y servicios”, que se entiende como lo que cada proyecto va a aportar a la zona, pero no en términos de empleo (criterio social), para finalmente ser expresado a través de la capacidad de contribuir en el potenciamiento económico de la región, medido en actividades específicas de interés.

Notar que del total de 24 criterios terminales de la jerarquía, la mitad de ellos son de origen cualitativo. Cada criterio estratégico debe ser desarrollado, en los elementos que lo componen, para precisar el alcance del análisis. A continuación, un ejemplo para el criterio estratégico *Eficacia Ambiental*:

Por Ambiente se considera el medio sobre el cual actuará el proyecto, y que podría ser modificado por éste. Bajo este criterio se persigue mejorar la calidad ambiental (en términos de eficacia).

Este criterio se subdivide en:

Contexto Natural: mide el aporte del proyecto dentro de la naturaleza, subdividiéndose en aquellos componentes (criterios terminales) que pueden sufrir modificaciones: *Vegetación, Fauna, Suelo y Agua*. Se pretende incentivar el mejoramiento del actual ecosistema, o en su defecto, su preservación.

Contexto Antrópico: mide el aporte del proyecto en la relación hombre - medio natural, en áreas destinadas a *esparcimiento* (lugares de recreación con valor en términos de reservas naturales, parques, "pulmones naturales", etc. que pudieran disminuir en su extensión o perder ciertos atractivos), *educación* (programas que desarrollen la educación ambiental, de modo de disminuir la ocurrencia de ciertos desastres ambientales frecuentes en la zona, como los incendios, quemadas de pastizales, contaminación de las aguas, erosión de los suelos, etc...), y *paisaje* (modificaciones importantes en el paisaje histórico-natural).

Este mismo proceso, debe ser repetido para toda la jerarquía, nivel por nivel, desde el objetivo global, criterios estratégicos, subcriterios intermedios y criterios terminales que la conforman.

Se puede observar, que el criterio estratégico de Potenciamiento Económico presenta un subcriterio denominado “Potenciamiento de Otras Actividades”. En éste se han agrupado otro tipo de actividades económicas diferentes del turismo y la agricultura, y que dadas las características de la zona, son consideradas de menor interés en forma individual por el equipo de trabajo, pero que agrupadas son homogéneas (en término de importancia con las actividades agrícolas y de turismo).

Se adjunta la matriz de comparaciones del primer nivel de la jerarquía correspondiente a los criterios estratégicos. Se destacan con fondo verde las comparaciones que son ingresadas en la matriz, ya que las bases matemáticas proveen las demás.

Nota: se lee, criterio fila domina al criterio columna por X veces, o criterio fila es X veces más preferible al criterio de la columna. En los casos de preferencia inversa (1/X), es el criterio de la columna el que domina al criterio de la fila.

	Ambiental	Sinergia	Social	Man.Riesgos	Pot.Económ
Ambiental	1	1/4	1	1/5	1/1,6
Sinergia	4	1	2,1	1/2,6	1,2
Social	1	1/2,1	1	1/3	1,7
Man.Riesgos	5	2,6	3	1	2
Pot.Económ.	1,6	1/1,2	1/1,7	1/2	1

La consistencia de la matriz es del 95%, lo que corresponde estadísticamente a una consistencia aceptable (esto es, igual o mayor al 90%). Por lo tanto, se concluye que para el caso en análisis, las consistencias obtenidas son aceptables.

Al elevar la matriz de comparaciones a pares a potencia para buscar su punto de equilibrio final, ésta converge al siguiente vector de prioridades, ordenado según la importancia de los criterios, de mayor a menor:

Eficacia Manejo de Riesgos: 40,73%

Eficacia Sinérgica: 22,45%

Eficacia Económica: 14,51%

Eficacia Social: 13,65%

Eficacia Ambiental: 8,67%

Índice de Inconsistencia = 0,05 → Consistencia = 95%

Estos resultados deben leerse como: “para el grupo de decisores de los criterios estratégicos, la eficacia en el manejo de los riesgos es 3 veces más importante que la eficacia social que pueda aportar un proyecto dado”.

Por ejemplo, para el criterio terminal “**Inundación**” dentro de la rama de Manejo de Riesgos Hídricos, su escala de intensidades de tipo cualitativa es la siguiente:

Nivel	Descripción
<i>Fuerte</i>	El proyecto aporta directa o fuertemente al manejo del riesgo de inundación en la zona.
<i>Medio</i>	En términos generales, el proyecto aporta en forma indirecta o intermedia con el manejo del riesgo de inundación en la zona.
<i>Bajo</i>	El proyecto tiene un aporte bajo o muy indirecto con el manejo del riesgo de inundación en la zona.
<i>Nulo</i>	El proyecto no presenta ningún tipo de aporte bajo este concepto.

Figura A.2: Escala de Intensidades para el Criterio Inundación

De esta forma, se construye la siguiente matriz de comparaciones a pares:

	Fuerte	Medio	Bajo	Vector Prioridades
Fuerte	1	13/5	5	1.000
Medio	5/13	1	12/5	0.414
Bajo	1/5	5/12	1	0.186

$IC = 0.01 \rightarrow$ Consistencia = 99%

El vector de preferencias normalizado de esta matriz es:

VP= {Fuerte=1.0; Medio=0.414; Bajo=0.186}

Al graficar el vector de prioridades de la matriz anterior, y unir sus puntos mediante rectas, se obtiene una aproximación de la función de transformación de la información desde una característica netamente cualitativa (eje de las abscisas), a una de tipo cuantitativa con métrica cardinal proporcional (eje de las ordenadas).

Notar que se agrega el punto Nulo = 0.0 en el gráfico a continuación:

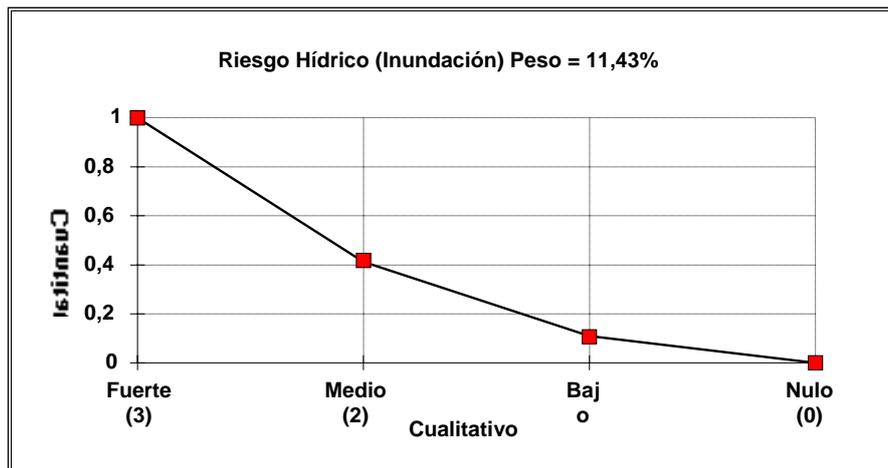


Figura A.4: Función de transformación del criterio Inundación

Cabe hacer notar la poca linealidad de la función de la figura A.4. Esto quiere decir, que para los especialistas entendidos en manejo de riesgo de inundación, el diferencial de impacto de pasar de un nivel de la escala a otro consecutivo no es homogéneo. Lo que invalida la aplicación de escalas lineales (como por ejemplo escalas ordinales o de notas), que no cumplen esta condición.

De aquí, es fácil deducir el nivel de error que se comete cuando se utilizan escalas ordinales (tipo 1,2 3), para representar la información y operar numéricamente con ella.

La figura A.5 a continuación muestra una parte de la matriz de evaluación multicriterio para el Caso Guía (13 de los 24 criterios terminales).

Evaluación de los Proyectos

	EFICACIA AMBIENTAL							EFICACIA SINERGICA			
	CONTEXTO NATURAL				CONT. ANTROPICO			S. INTERNA		S. EXTERNA	
	AGUA	SUELO	VEGET.	FAUNA	ESPAR.	EDUC.	PAISA.	INTEN.	CANT.	INTEN.	CANT.
CC5-11	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.086	NEUTRO	MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO
CC5-2	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.733		NEUTRO	MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO
CC5-3	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.733		NEUTRO	MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO
CC5-4	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.733		NEUTRO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
CC5-5	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.733		NEUTRO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
CC5-6	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.733		NEUTRO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
CC5-7	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.733		NEUTRO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
CC5-8	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.733		NEUTRO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
CC5-9	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.733		NEUTRO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
AS5-4	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.467	SUS	POSIT	MEDIO	ALTO	0.629	MEDIO
CF5-3	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.467	0.505	POSIT	MEDIO	ALTO	0.629	MEDIO
MF5-1				NEUTRO	POSIT	0.505	POSIT	MEDIO	ALTO	0.629	MEDIO
MS5-3	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	POSIT	0.505	0.778	MEDIO	ALTO	0.629	MEDIO

MS5-4	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.733	REG	0.778	ALTO	ALTO	0.629	MEDIO
AS5-1	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	POSIT	0.505	0.778	MEDIO	BAJO	0.055	BAJO
AS5-2	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	POSIT	0.505	0.778	MEDIO	BAJO	0.055	BAJO
AS5-3	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	POSIT	0.505	0.778	BAJO		0.055	BAJO
GC5-3	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.037	NEUTRO	BAJO	MEDIO	ALTO	MEDIO
GC5-7	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.086	NEUTRO	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO
CC5-10	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.086	POSIT	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO
CF5-1	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.467	0.160	0.556	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
CF5-2	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.467	0.086	0.556	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
CF5-5	POSIT	POSIT	POSIT	POSIT	0.467	0.505	POSIT	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
MF5-2				NEUTRO	POSIT	0.505	POSIT	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
MF5-3				NEUTRO	POSIT	0.505	POSIT	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
AS5-5	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.733	SUS	NEUTRO	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO
AS5-6	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	POSIT	SUS	0.556	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO
CF5-4	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.505	0.556	BAJO		BAJO	MEDIO
GC5-6	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.400	0.314	0.500	BAJO		BAJO	MEDIO
GC5-1	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.037	NEUTRO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO
GC5-5	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.086	NEUTRO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO
MS5-1	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.467	0.505	0.556	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
MS5-2	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	0.467	0.505	0.556	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO
MS5-5	POSIT	POSIT	POSIT	POSIT	POSIT	SUS	POSIT	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
GC5-8	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO	NEUTRO		NEUTRO				

	EFICACIA SOCIAL				EFICACIA EN MANEJO DE RIESGOS						EF. ECONOMICA		
	E. POBREZA		# BENEFIC.		FORESTAL Y SUELOS			HIDRICO			TURIS.	FORES	OTRO
	% COM	%REG.	DIREC	INDIR.	DEFOR	DEGR	INCEN	INUND.	D.AGUA	SEDIM			
CC5-11	MEDIO	ALTO	SPRO		0.074	0.064		FUERT	0.667	0.175	0.375		PSIGN
CC5-2	MEDIO	MEDIO	BAJO		0.074	0.355		FUERT	0.667	0.276	0.667		PSIGN
CC5-3	MALTO	MEDIO	BAJO		0.074	0.355		FUERT	0.667	0.276	0.667		PSIGN
CC5-4	ALTO	MEDIO	BAJO		0.074	0.355		FUERT	0.667	0.276	0.667		PSIGN
CC5-5	ALTO	MEDIO	BAJO		0.074	0.355		FUERT	0.667	0.276	0.667		PSIGN
CC5-6	ALTO	MEDIO	BAJO		0.074	0.355		FUERT	0.667	0.276	0.667		PSIGN
CC5-7	MEDIO	ALTO	BAJO		0.074	0.355		FUERT	0.667	0.276	0.667		PSIGN
CC5-8	MEDIO	0.209	BAJO		0.074	0.355		FUERT	0.667	0.276	0.667		PSIGN
CC5-9	MALTO	MEDIO	BAJO		0.074	0.355		FUERT	0.667	0.276	0.667		PSIGN
AS5-4	MEDIO	ALTO		CUENC	MEDIO	0.273	MEDIO	0.037		BAJO	SIGNIF		
CF5-3	MEDIO	ALTO		CUENC	0.810	0.812	MEDIO	0.138	0.333	0.051	PSIGN	SIGNIF	
MF5-1	MEDIO	ALTO		CUENC	0.810	0.812	FUERT	MEDIO	APORT	0.276	PSIGN	SIGNIF	PSIGN
MS5-3	MEDIO	ALTO	PROM		FUERT	FUERT	0.795	MEDIO	APORT	BAJO	PSIGN	SIGNIF	PSIGN
MS5-4	MEDIO	BAJO	BAJO		BAJO	BAJO	BAJO	0.037			PSIGN		
AS5-1	MEDIO	MEDIO	SPRO		0.217	0.273	0.432	0.037		0.051	PSIGN		
AS5-2	MEDIO	BAJO	PROM		0.217	0.273	0.432				PSIGN		
AS5-3	MEDIO	ALTO	IMPO		0.217	0.273	0.432				PSIGN		
GC5-3	MEDIO	ALTO		CUENC	0.037	0.064	0.049	0.138	APORT	0.051	0.188		0.333
GC5-7	MEDIO	ALTO		CUENC				0.804	APORT	0.051	0.375		0.725
CC5-10	MEDIO	ALTO		CUENC				0.609	0.750		PSIGN		0.862
CF5-1	MEDIO	ALTO		CUENC	MEDIO	MEDIO	0.795	BAJO	0.333	0.400		PSIGN	
CF5-2	MEDIO	ALTO		CUENC	MEDIO	0.273	0.227	0.037	0.333	0.051	PSIGN	PSIGN	
CF5-5	MEDIO	ALTO		CUENC	FUERT	FUERT	0.590	BAJO	0.333	0.051		PSIGN	
MF5-2	MEDIO	ALTO		CUENC	0.810	FUERT	FUERT	0.312	APORT	BAJO	PSIGN	SIGNIF	PSIGN
MF5-3	MEDIO	ALTO		CUENC	FUERT	FUERT	FUERT	MEDIO	APORT	0.276	PSIGN	SIGNIF	PSIGN
AS5-5	MEDIO	MEDIO		CUENC	0.037	0.064	0.049	0.037			SIGNIF		PSIGN
AS5-6	ALTO	MEDIO		CUENC	0.333	0.333	0.333	0.138	0.333	0.175	SIGNIF		PSIGN
CF5-4	MEDIO	ALTO		CUENC	0.217	0.146	0.227	BAJO	0.333	BAJO			
GC5-6	MEDIO	ALTO		CUENC	0.493	0.578	0.443	0.310	0.833	0.338			0.196
GC5-1	MEDIO	ALTO		CUENC	0.037	0.064		MEDIO	0.778	0.051	0.188		0.196
GC5-5	MEDIO	ALTO		CUENC	0.037	0.064		0.804	0.778	0.051	0.188		0.196
MS5-1	MEDIO	MEDIO	PROM		0.620	0.625	0.227	0.037	0.333	BAJO			
MS5-2	MEDIO	ALTO	SPRO		0.620	0.625	0.227	0.138	0.333	BAJO			

MS5-5	MEDIO	0.209	PROM		FUERT	FUERT	MEDIO	MEDIO	APORT	MEDIO		PSIGN	PSIGN
GC5-8	MEDIO	ALTO	BAJO		0.037	0.273		0.074	0.692	0.051			SIGNIF

Figura A.5: Matriz de evaluación

Con:

Filas = alternativas a ser evaluadas (proyectos)

Columnas = criterios terminales por lo que se miden las alternativas, utilizando las escalas respectivas ya construidas.

Para la obtención del valor de eficacia de cada proyecto, se aplica la ecuación de síntesis y se obtiene el siguiente vector de prioridades o ranking cardinal de proyectos:

CODIGO PROYECTO	NIVEL DE EFICACIA	CODIGO PROYECTO	NIVEL DE EFICACIA
MS5-5	0,595	CC5-6	0,352
MF5-3	0,587	GC5-5	0,349
MS5-3	0,582	MS5-1	0,346
MF5-1	0,576	CC5-4	0,344
MF5-2	0,545	CC5-5	0,344
CF5-3	0,480	CC5-8	0,333
CF5-5	0,468	AS5-6	0,314
MS5-2	0,415	GC5-6	0,307
CC5-3	0,413	GC5-1	0,303
GC5-7	0,408	MS5-4	0,273
CC5-10	0,397	GC5-3	0,273
CC5-9	0,390	AS5-3	0,216
AS5-4	0,379	AS5-5	0,212
CF5-1	0,378	CF5-4	0,199
CC5-2	0,367	AS5-1	0,198
CC5-7	0,363	AS5-2	0,175
CC5-11	0,358	GC5-8	0,133
CF5-2	0,357		

Proyecto Promedio =	0,377
Inconsistencia (IC) =	0,05
Umbral (PP+IC) =	0,427
Promedio Aritmético =	0,364

Figura A.6: Ranking de proyectos

Dado que el puntaje final obtenido por el proyecto mejor clasificado es de 0,595, y que sólo 7 alternativas superan el umbral de eficacia mínima, se puede observar que la performance general de esta cartera es más bien baja.

Notar que en la construcción del umbral, al proyecto promedio se la ha sumado la inconsistencia global del modelo, por ser ésta un equivalente al: "error de medida del modelo".

Para leer mejor la cartera de proyectos en términos de resultados, resulta útil clasificarlos en dos grupos: proyectos por sobre una eficacia mínima esperada, y proyectos que no alcanzan dicho valor. Para realizar esta separación, se utiliza el umbral de eficacia mínima:

El siguiente gráfico de comportamiento, muestra la clasificación entre proyectos sobre la eficacia mínima (7 proyectos) y los que se hallan por debajo del umbral (28 proyectos).

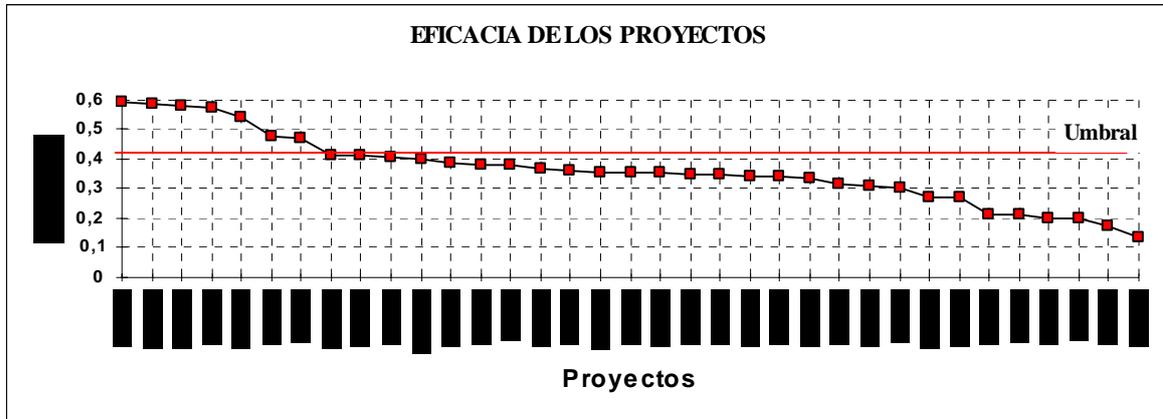


Figura A.7: Clasificación de proyectos

La línea horizontal roja, indica la ubicación del umbral en 0,427 calculado como el valor del proyecto promedio más la inconsistencia global del modelo (0,05), (*error de medida*), y que corresponde al nivel de eficacia mínima deseable. Todo proyecto sobre este umbral, es un proyecto deseable en términos de su eficacia.

Se realiza un análisis de sensibilidad detallado para detectar las fortalezas y debilidades de los proyectos con respecto de los cinco criterios estratégicos. En la figura A.8 se presentan los primeros 6 proyectos del ranking de eficacia para dicho análisis.

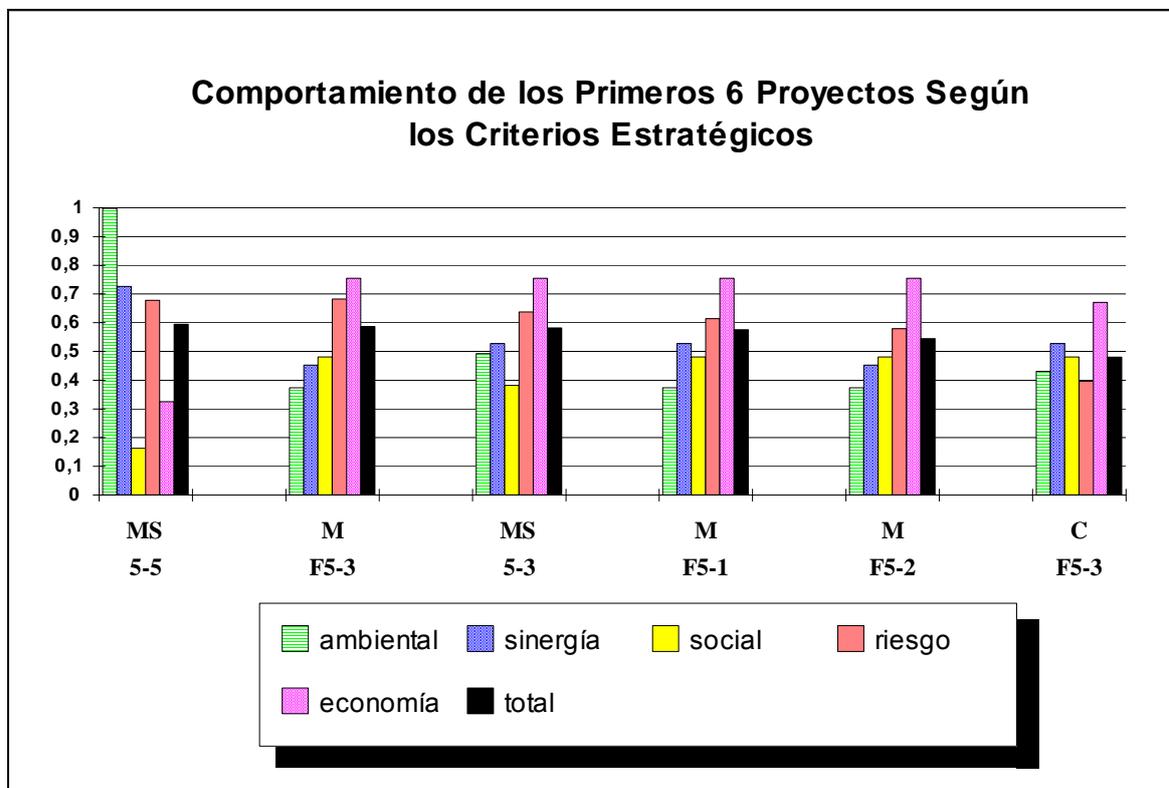


Figura A.8: Análisis de sensibilidad

A partir de la figura, es fácil apreciar por ejemplo, que el proyecto mejor clasificado MS5-5, tiene un excelente comportamiento según el criterio de eficacia ambiental (barra verde), pero su eficacia social (barra amarilla) es definitivamente baja.

Igualmente, se puede analizar el comportamiento de los restantes proyectos, los que presentan en general, un buen desempeño desde el punto de vista económico y uno más discreto desde el punto de vista ambiental y social.

Este análisis, permite discernir donde hacer posibles modificaciones a las alternativas (proyectos), tal que, éstas mejoren de forma notable su performance.

Al sensibilizar los resultados, se puede construir una visión o escenario diferente respecto de, por ejemplo, la importancia del manejo de riesgos hídricos (sedimentación) versus su manejo de los riesgos forestales (deforestación). Estas visiones, que inicialmente se podrían definir como contrapuestas, ya que los pesos de estos 2 criterios en el escenario base son (55-45), a favor de riesgo hídrico (curva roja), y exactamente el opuesto (45-55) a favor de manejo de incendios en el escenario modificado (curva azul).

Lo interesante en este análisis, una vez expuestas las ideas es que en vez de enfrascarse en una disputa de fuerzas, los interesados han preferido evaluar la estabilidad /compatibilidad de los resultados frente a estas dos visiones o escenarios.

En la figura A.9 a continuación, se muestran las dos curvas de preferencia que se producen al ingresar al modelo las dos visiones de forma separada. La curva en rojo presenta el ordenamiento de la cartera bajo la visión de mayor importancia en el manejo de riesgos hídricos (situación base), mientras que la curva en azul presenta el nuevo ordenamiento de la cartera suponiendo que son los riesgos forestales los más importantes.

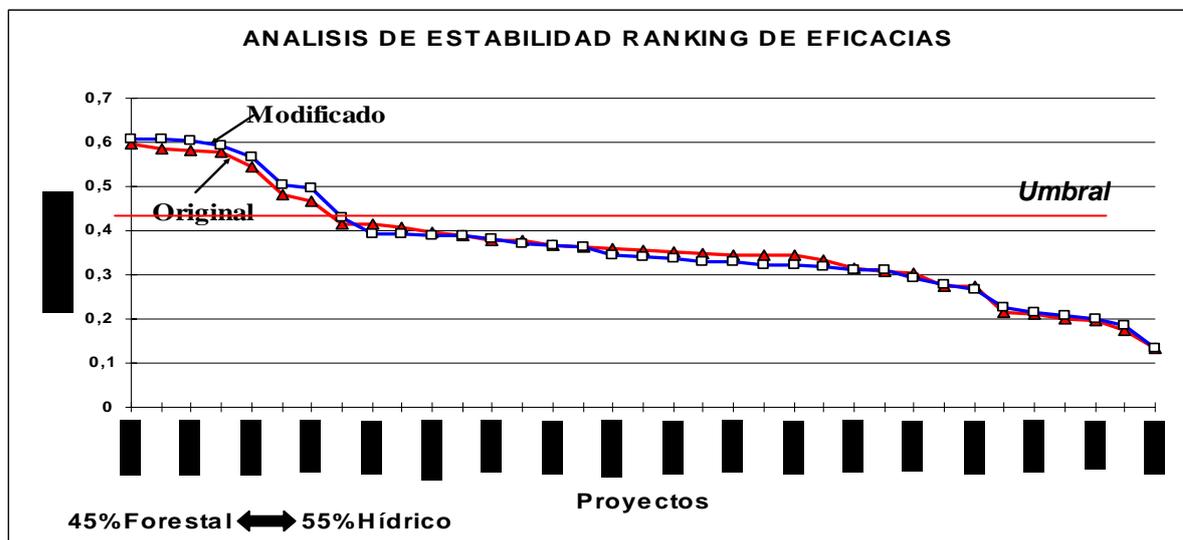


Figura A.9: Análisis de escenarios y estabilidad

Notar que el grado de acoplamiento existente entre las dos curvas es casi total, esto dice que ambas curvas o carteras son en términos técnicos prácticamente equivalentes. De hecho, en la zona de eficacia aceptable, (sobre el umbral) que es donde el análisis interesa más, los proyectos seleccionados resultan ser los mismos (aunque con ligeras diferencias en su valor de eficacia).

El Modelo De Costos

Se ha considerado la opción de valor de mercado, como la más frecuente. Es decir, el modelo de costos queda completamente definido por los costes monetarios y éstos son proporcionales a la escala monetaria de mercado, asumiendo una representatividad directa de la escala económica.

Por lo tanto, se utilizan directamente los valores de costo de inversión social de los proyectos (valores predefinidos) y proporcionados como parte del detalle de las alternativas.

La tabla A.10 presenta los valores de costos económicos de las alternativas y la figura A.11 a continuación, los proyecta en forma gráfica, pero según el orden dado por el modelo de eficacia.

PROYECTO	INVERSION	INVERSION NORMALIZADA	PROYECTO	INVERSION	INVERSION NORMALIZADA
CC5-9	48,29	0,0035	GC5-7	304,21	0,0219
MF5-2	66,12	0,0048	CC5-8	328,54	0,0237
GC5-6	70	0,0050	CC5-6	380,2	0,0274
CC5-7	70,84	0,0051	MF5-1	387,9	0,0279
CC5-4	93,09	0,0067	GC5-5	420,24	0,0303
CC5-3	96,51	0,0069	CC5-2	464,84	0,0335
MS5-1	99	0,0071	CC5-5	542,79	0,0391
GC5-3	99,3	0,0072	AS5-6	574,29	0,0414
GC5-1	125	0,0090	CF5-1	605,15	0,0436
MS5-3	127,4	0,0092	CF5-3	728,49	0,0525
CC5-11	127,51	0,0092	AS5-1	754,77	0,0543
CF5-5	130	0,0094	CF5-2	825,8	0,0595
CC5-10	185,25	0,0133	AS5-2	912,62	0,0657
AS5-3	193,52	0,0139	MF5-3	1258,86	0,0906
AS5-4	208,2	0,0150	AS5-5	1734,23	0,1249
MS5-5	278	0,0200	GC5-8	4640,5	0,3342
MS5-4	280	0,0202	MS5-2	13887,27	10000
CF5-4	283	0,0204			

Tabla A.10: Ranking de costos de los proyectos normalizado (escala de mercado)

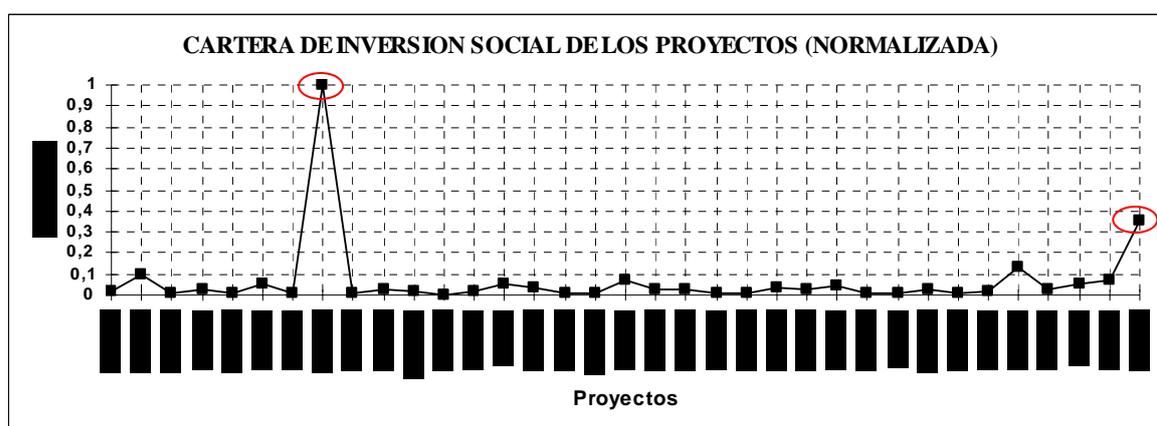


Figura A.11: Distribución de la inversión ordenado según eficacia

El resultado del modelo de costo es asimilado directamente al ranking de proyectos según su inversión social (normalizada). La tabla A.12 a continuación

entrega el ranking de B/C para el conjunto de proyectos considerados, ordenados de mayor a menor B/C.

En este caso, se utilizó la relación clásica $B/C \geq 1$.

PROYECTO	EFICACIA	INVERSION	EFICACIA	INVERSION	B/C
		Miles US\$	Normal	Normal	
MF5-2	0,545	66,12	0,0422	0,0021	19,9996
CC5-9	0,39	48,29	0,0302	0,0015	19,5959
CC5-7	0,363	70,84	0,0281	0,0023	12,4333
MS5-3	0,582	127,4	0,0451	0,0041	11,0844
GC5-6	0,307	70	0,0238	0,0022	10,6414
CC5-3	0,413	96,51	0,0320	0,0031	10,3833
CF5-5	0,522	130	0,0404	0,0041	9,7428
CC5-4	0,344	93,09	0,0266	0,0030	8,9663
MS5-1	0,346	99	0,0268	0,0032	8,4800
CC5-11	0,358	127,51	0,0277	0,0041	6,8123
GC5-3	0,273	99,3	0,0211	0,0032	6,6707
GC5-1	0,303	125	0,0235	0,0040	5,8815
CC5-10	0,397	185,25	0,0307	0,0059	5,1998
MS5-5	0,595	278	0,0461	0,0089	5,1931
AS5-4	0,379	208,2	0,0294	0,0066	4,4169
MF5-1	0,576	387,9	0,0446	0,0124	3,6030
GC5-7	0,408	304,21	0,0316	0,0097	3,2542
AS5-3	0,216	193,52	0,0167	0,0062	2,7082
CC5-8	0,333	328,54	0,0258	0,0105	2,4593
MS5-4	0,273	280	0,0211	0,0089	2,3657
CF5-4	0,265	283	0,0205	0,0090	2,2720
CC5-6	0,352	380,2	0,0273	0,0121	2,2464
GC5-5	0,349	420,24	0,0270	0,0134	2,0150
CC5-2	0,367	464,84	0,0284	0,0148	1,9157
CF5-3	0,493	728,49	0,0382	0,0233	1,6420
CC5-5	0,344	542,79	0,0266	0,0173	1,5377
CF5-1	0,369	605,15	0,0286	0,0193	1,4795
AS5-6	0,314	574,29	0,0243	0,0183	1,3266
CF5-2	0,417	825,8	0,0323	0,0264	1,2252
MF5-3	0,587	1258,86	0,0455	0,0402	1,1314
AS5-1	0,198	754,77	0,0153	0,0241	0,6365
AS5-2	0,175	912,62	0,0136	0,0291	0,4653
AS5-5	0,212	1734,23	0,0164	0,0554	0,2966
MS5-2	0,415	13887,27	0,0321	0,4432	0,0725
GC5-8	0,133	4640,5	0,0103	0,1481	0,0695

Tabla A.12. Ranking de eficacia/costo

Las celdas en amarillo denotan alternativas con una eficacia y una eficacia-costo superior al umbral.

Las celdas en verde denotan alternativas con una eficacia-costo mayor o igual a uno, pero con una eficacia inferior al umbral.

Las celdas en rojo denotan alternativas de proyecto que no satisfacen ninguna de las dos condiciones.

Por último, las celdas en amarillo con trama de puntos denotan celdas muy cercanas al umbral de eficacia mínima y que fueron seleccionadas igualmente para un análisis más completo del comportamiento de la cartera.

A partir de lo anterior, se pueden generar tres sub-tablas que se detallan a continuación:

PROYECTO	EFICACIA	INVERSION	B/C
		Miles US\$	
MF5-2	0,545	66,12	20,00
MS5-3	0,582	127,4	11,08
CF5-5	0,522	130	9,74
MS5-5	0,595	278	5,19
MF5-1	0,576	387,9	3,60
CF5-3	0,493	728,49	1,64
MF5-3	0,587	1258,86	1,13

Tabla A.13a: Proyectos eficaces y eficientes

La tabla A.13a, corresponde a los proyectos que superan ambos límites, de eficacia (modelo AHP de eficacia), y eficiencia (razón Beneficio /Costo), en forma estricta.

Estas alternativas corresponden a las primeras a ser escogidas en términos técnicos, y conforman lo que se puede denominar una “subcartera efectiva” (eficaz y eficiente) ya que, los 7 proyectos de la tabla responden integralmente a la estrategia de solución propuesta. Es decir, son eficaces para atacar el problema expuesto, y al mismo tiempo son eficientes, es decir, cada unidad de costo monetario invertido retorna mas de una unidad de beneficio.

La tabla A.13b se puede construir al relajar la condición de eficacia mínima y aceptar eficacias cercanas al umbral (proyectos cuasi-eficaces) que presenten una eficiencia aceptable (>1). De alguna forma, se está aceptando un intercambio (*trade-off*) entre proyectos con eficacias cercanas al umbral a cambio de una eficiencia adecuada.

PROYECTO	EFICACIA	INVERSION	B/C
		Miles US\$	
MF5-2	0,545	66,12	20,00
MS5-3	0,582	127,4	11,08
CC5-3	0,413	96,51	10,38
CF5-5	0,522	130	9,74
MS5-5	0,595	278	5,19
MF5-1	0,576	387,9	3,60
CF5-3	0,493	728,49	1,64
CF5-2	0,417	825,8	1,23
MF5-3	0,587	1258,86	1,13

Tabla A.13b: Proyectos cuasi-eficaces y eficientes

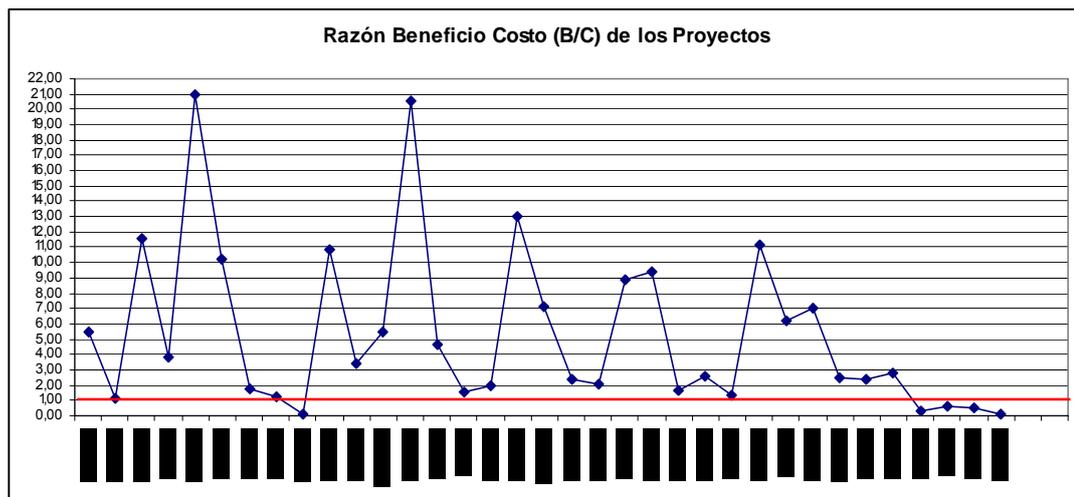
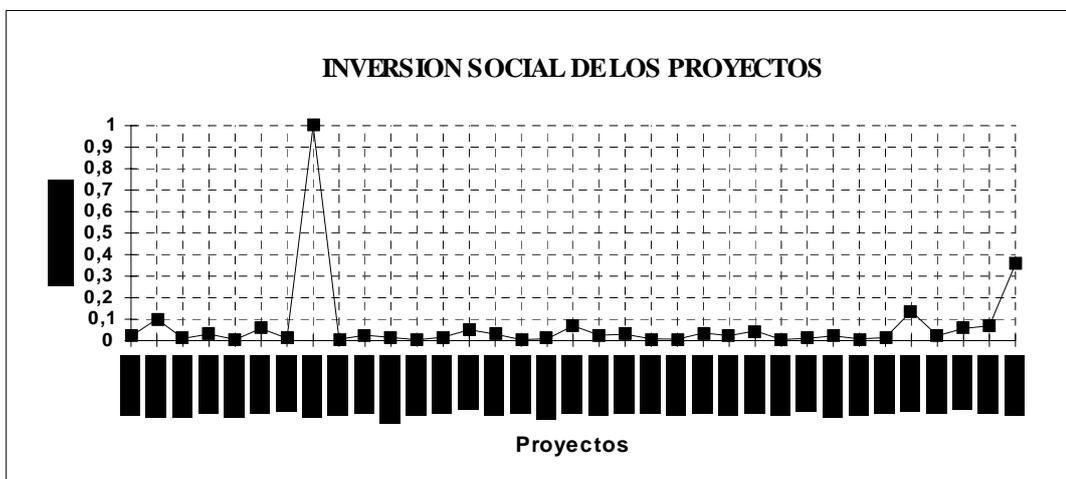
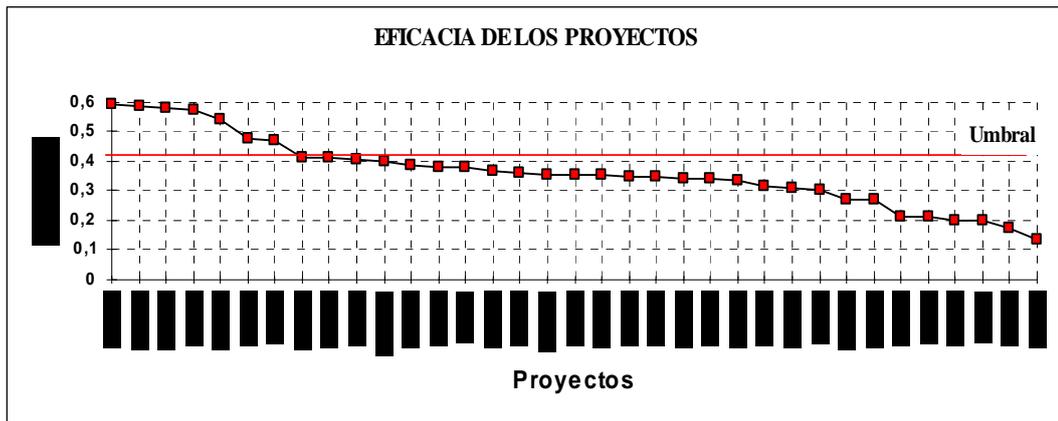
En este caso, el nivel de eficacia de la cartera de la tabla crece, respecto de la lista de la tabla anterior al 36,6% de eficacia (un 6,6% extra). Haciendo la cartera un poco más eficaz, pero, al mismo tiempo, aumentando su costo en un 3,2% del total.

Por último, si se relaja aún mas el ranking de selección, y se permite entrar a todo proyecto con una razón $B/C \geq 1$ (es decir, no se exige un nivel de eficacia mínima, entonces se conforma la tabla a continuación:

PROYECTO	EFICACIA	INVERSION	EFICACIA	INVERSION	B/C
		Miles US\$	Normal	Normal	
MF5-2	0,545	66,12	0,0422	0,0021	19,9996
CC5-9	0,39	48,29	0,0302	0,0015	19,5959
CC5-7	0,363	70,84	0,0281	0,0023	12,4333
MS5-3	0,582	127,4	0,0451	0,0041	11,0844
GC5-6	0,307	70	0,0238	0,0022	10,6414
CC5-3	0,413	96,51	0,0320	0,0031	10,3833
CF5-5	0,522	130	0,0404	0,0041	9,7428
CC5-4	0,344	93,09	0,0266	0,0030	8,9663
MS5-1	0,346	99	0,0268	0,0032	8,4800
CC5-11	0,358	127,51	0,0277	0,0041	6,8123
GC5-3	0,273	99,3	0,0211	0,0032	6,6707
GC5-1	0,303	125	0,0235	0,0040	5,8815
CC5-10	0,397	185,25	0,0307	0,0059	5,1998
MS5-5	0,595	278	0,0461	0,0089	5,1931
AS5-4	0,379	208,2	0,0294	0,0066	4,4169
MF5-1	0,576	387,9	0,0446	0,0124	3,6030
GC5-7	0,408	304,21	0,0316	0,0097	3,2542
AS5-3	0,216	193,52	0,0167	0,0062	2,7082
CC5-8	0,333	328,54	0,0258	0,0105	2,4593
MS5-4	0,273	280	0,0211	0,0089	2,3657
CF5-4	0,265	283	0,0205	0,0090	2,2720
CC5-6	0,352	380,2	0,0273	0,0121	2,2464
GC5-5	0,349	420,24	0,0270	0,0134	2,0150
CC5-2	0,367	464,84	0,0284	0,0148	1,9157
CF5-3	0,493	728,49	0,0382	0,0233	1,6420
CC5-5	0,344	542,79	0,0266	0,0173	1,5377
CF5-1	0,369	605,15	0,0286	0,0193	1,4795
AS5-6	0,314	574,29	0,0243	0,0183	1,3266
CF5-2	0,417	825,8	0,0323	0,0264	1,2252
MF5-3	0,587	1258,86	0,0455	0,0402	1,1314

Tabla A.13c: Proyectos eficientes

A continuación se ilustra mediante los gráficos A.14 de eficacia, eficiencia y B/C, lo que permite visualizar como varía la curva y cuales son los proyectos que resultan sobre y bajo el umbral tanto de eficacia como de efectividad (eficacia-eficiencia) resultante para la razón beneficio-costos en términos de inversión social:



Figuras A.14a, b, c: Ranking de eficacia / inversión social con sus umbrales

9.2 Explicación del Caso Interactivo (sitio web SUBDERE)

En este anexo se entrega una reseña explicativa del caso didáctico interactivo que el lector podrá encontrar en el sitio web de la SUBDERE.

La idea de este ejemplo, es que el lector pueda hacer una verificación empírica de las ventajas que tiene el método de comparación a pares.

Para lograr esto se seleccionó un problema muy simple, que consiste en asignar recursos (dinero o puntaje) con un total de 100 puntos, entre 5 diferentes figuras geométricas, las que pueden ser consideradas como los “proyectos” a ser valorados. El criterio de valoración es único y corresponde exclusivamente a la medida de la superficie de las figuras. A mayor superficie, mayor “eficacia o impacto” del proyecto y por ende, mayor asignación de puntos. Las superficies a considerar son:

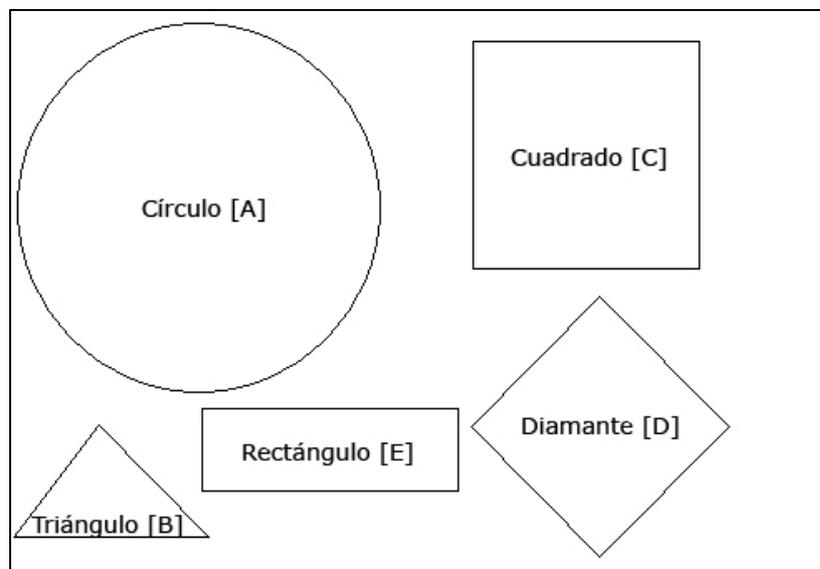


Figura A.15: Ejemplo de áreas

El lector deberá primero hacer una asignación a “ojo”, es decir, estimar sin ningún tipo de regla o fórmula el puntaje que asignará a cada figura (proyecto), proporcional a su superficie. Esto es equivalente al ordenamiento de una cartera con un proceso no sistematizado. A continuación el sistema le requerirá una serie de comparaciones a pares (10), entre las diferentes figuras, para obtener la distribución del puntaje haciendo uso de la metodología AHP.

El lector deberá cuidar, comparación por comparación, que sus preferencias consideren el sentido de la misma, es decir, si una figura X es mas grande (importante) que otra Y, entonces la marca o sentido de la preferencia deberá ser hacia la figura mayor (más preferible).

Por ejemplo: si se estima que la figura geométrica X es 3 veces mas grande (moderadamente preferible) que la figura geométrica Y, entonces la preferencia deberá marcarse en el sentido de la figura X, tal como muestra el siguiente esquema:

Sentido de preferencia para figura X ←										vs.	→ Sentido de preferencia para figura Y											
9	8	7	6	5	4	3	2	1.75	1.50	1.25	1	1.25	1.50	1.75	2	3	4	5	6	7	8	9
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" 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"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura A.16: Ejemplo de votación figuras geométricas (por comparación a pares)

En caso de igualdad de preferencias, entonces el valor a marcar es uno (al centro de la regla). Valores con decimales pueden ser utilizados según las opciones, o bien pueden ser aproximados al valor entero más cercano: $2,3 \rightarrow 2$ y $2,7 \rightarrow 3$.

Los resultados obtenidos por los mecanismos anteriores son comparados (calibrados) con los valores reales de superficie de las figuras, destacando las diferencias y semejanzas existentes entre los valores entregados por los ambos mecanismos.

La comparación de resultados entregados por AHP (matriz de comparaciones a pares) y los valores reales se puede interpretar como el equivalente a la comparación entre los resultados del modelo ex-ante (la promesa o los resultados esperados) con la evaluación ex-post (lo realmente obtenido), en analogía a lo indicado en el capítulo 6.

De esta forma, es posible comprender que si se dispone de los conocimientos adecuados (profesionales con experiencia) y los objetivos están claramente definidos, es posible obtener resultados adecuados y cercanos a lo que se pretende, aún cuando varios de los criterios considerados sean intangibles.

Desde una perspectiva de modelamiento, la jerarquía que da cuenta de este ejemplo tiene la siguiente forma :

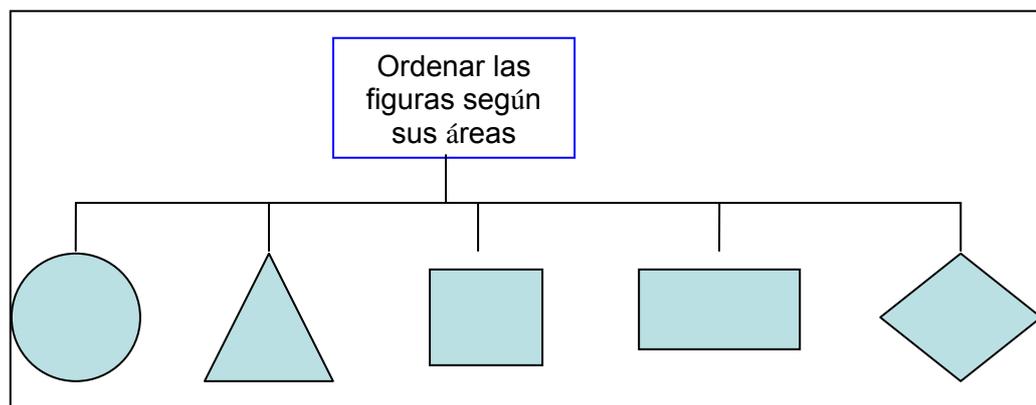


Figura A.17: Jerarquía del problema de las áreas

En este caso, (debido a la simplicidad del problema), la resolución de sólo una matriz de comparaciones es suficiente para llevar a cabo la tarea de “asignación de los recursos”, según el orden de prioridad de las figuras geométricas (ranking de la cartera de proyectos).

9.3 Bibliografía

- **Fundamentals of Decision Making & Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process**, Thomas L. Saaty, 527 pp., RWS Editors, (USA, 1994).
- **Decision Making in Economic, Political, Social and Technological Environments**, T. L. Saaty & L. G. Vargas, 330 pp., RWS Editors, (USA, 1994).
- **Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making With Benefits, Opportunities, Costs and Risks**. T. L. Saaty, 335 pp., RWS Editors, (USA, 2005).
- **Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences**, T. L. Saaty & Kirty Peniwati, RWS Editors, (USA, 2008).
- **Toma de Decisiones en Escenarios Complejos**: Claudio Garuti & Mauricio Escudey. Editorial Universidad de Santiago, 420pp, (Chile, 2005).
- **Measuring Compatibility in Weighted Environments: When Close Really Means Close?**, Claudio Garuti. Noveno Simposio de AHP, ISAHPIX, Viña del Mar (Chile, 2007).
- **Cien Mejor que Uno**: James Surowiecki, Editorial Random House, (USA, 2004)
- **The Number Sense: How The Mind Creates Mathematics**, Stanislas Dehaene. Oxford University Press, (USA, 1997).

9.4 Breve Reseña de los Autores

Claudio Garuti Anderlini (claudiogaruti@fulcrum.cl):

Ingeniero Civil en Estructuras, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, *Universidad de Chile*, (1986). Postgrado en "Processi Decisionali Assistiti dal Computer" Facoltà di Architettura, *Università di Roma*, (1988) "La Sapienza". 20 años aplicando modelación multicriterio, actualizándose en la base teórica y aportando al desarrollo de la misma. Es miembro permanente de ISAHP (International Symposium on The Analytic Hierarchy Process), Congreso Bianual de aplicación de metodologías multicriterio con énfasis en AHP/ANP, de MCDM Internacional (multicriteria decision Making Society) y de la Creative Decisions Foundation AHP/ANP del Dr. Thomas L. Saaty. Es también miembro asociado de REDM (Red de Evaluación y Decisión Multicriterio UNESCO) y de la Sociedad Brasileira de Pesquisa Operativa (SOBRAPO). Dicta cursos de AHP (pre y post-grado) en diversas Universidades e Instituciones del país. Es co-autor del libro "Toma de Decisiones en Escenarios Complejos" y presidente del IX Simposio Internacional de Toma de Decisiones AHP (ISAHP2007) en Viña del Mar, Chile, Simposio desarrollado en conjunto con la Armada de Chile y la Universidad Federico Santa María. Actualmente se desempeña como Gerente de la Consultora "FULCRUM Ingeniería Ltda."

Isabel Spencer González (ispencer@fulcrum.cl):

Ingeniero Civil Matemático, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, *Universidad de Chile* (1987). Postgrado en "Processi Decisionali Assistiti dal Computer" Facoltà di Architettura, *Università di Roma*, "La Sapienza". (1988) 20 años aplicando modelación multicriterio, actualizándose en la base teórica y aportando al desarrollo de la misma. Es miembro permanente de ISAHP (International Symposium on The Analytic Hierarchy Process), Congreso Bianual de aplicación de metodologías multicriterio con énfasis en AHP/ANP, de la MCDM Internacional (Multicriteria Decision Making Society) y de la Creative Decisions Foundation AHP/ANP del Dr. Thomas L. Saaty. Dicta cursos de AHP (pre y post-grado) en diversas Universidades e Instituciones del país. Actualmente se desempeña como responsable de Incentivos para IBM Latinoamérica.

Ledya Spencer González (ispencer@fulcrum.cl):

Ingeniero Civil Matemático, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, *Universidad de Chile*. Experta en plataformas CAD y ExpertChoice, especialista en análisis y desarrollo de proyectos de ingeniería civil e ingeniería en toma de decisiones. Dicta cursos de AHP (pre y post-grado) en diversas Universidades e Instituciones del país. Se desempeña como ingeniero especialista de "FULCRUM Ingeniería Ltda."

Datos de la Empresa:

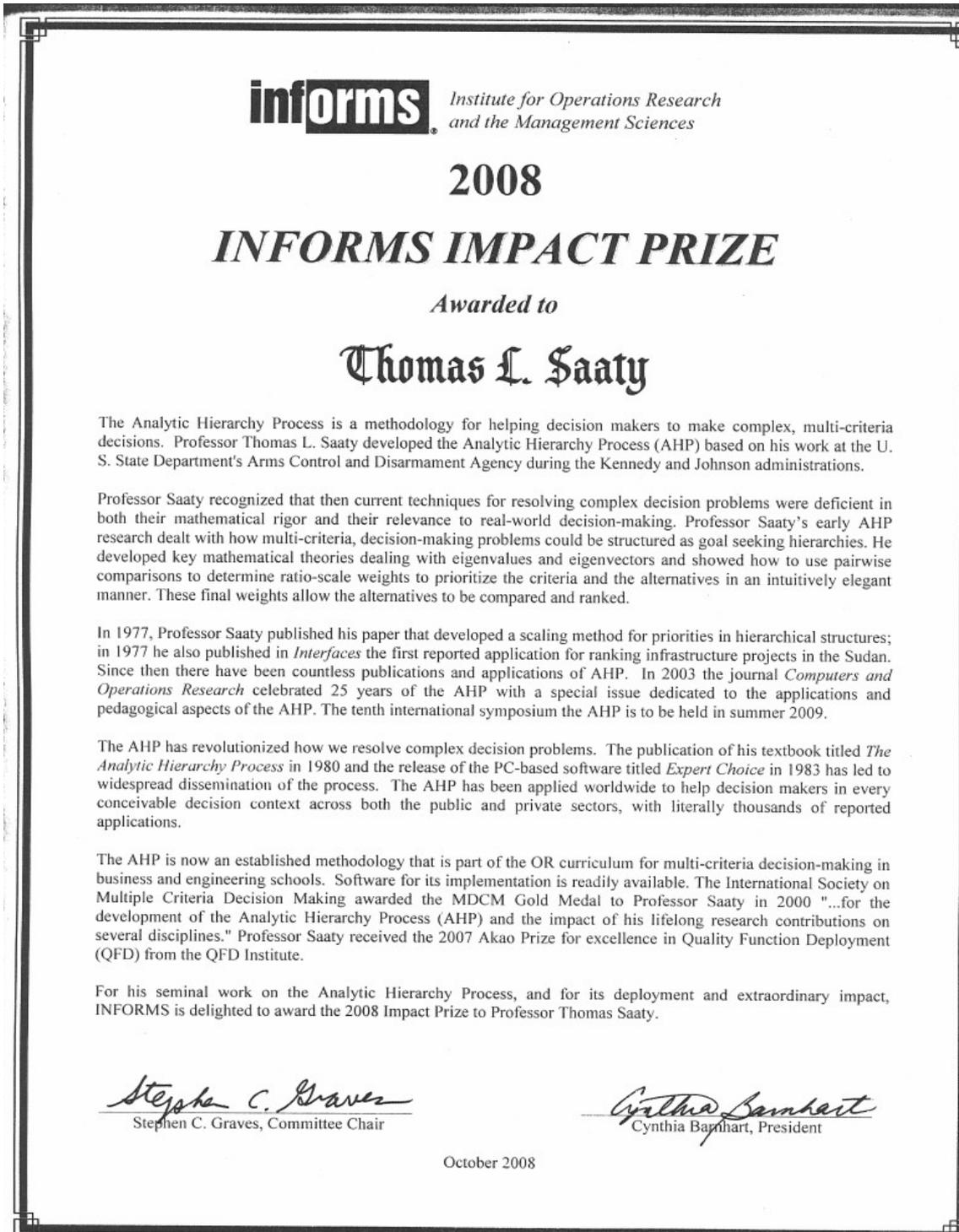
Fulcrum Ingeniería Ltda.: Ingeniería en Toma de Decisiones

Website: www.fulcrum.cl

Fono/Fax: 2-2319731 / 2-2341778

D: Edificio Plaza: Luis Thayer Ojeda 0180 Of.1004, Providencia, Santiago-Chile

9.5 Premio Dr. Thomas L. Saaty (INFORMS AWARD-2008)



Nota: cabe hacer notar, el interés por parte de la nueva administración del Gobierno de Estados Unidos, de utilizar el AHP /ANP como una de las metodologías base para la construcción de las políticas de asignación de los recursos del gobierno. Considerando la presentación del Rector de la Universidad de Delaware, Dr. Patrick Harker, al grupo de asesores del Vicepresidente de EEUU, Sr. Joe Biden.