



Decisiones multicriterio



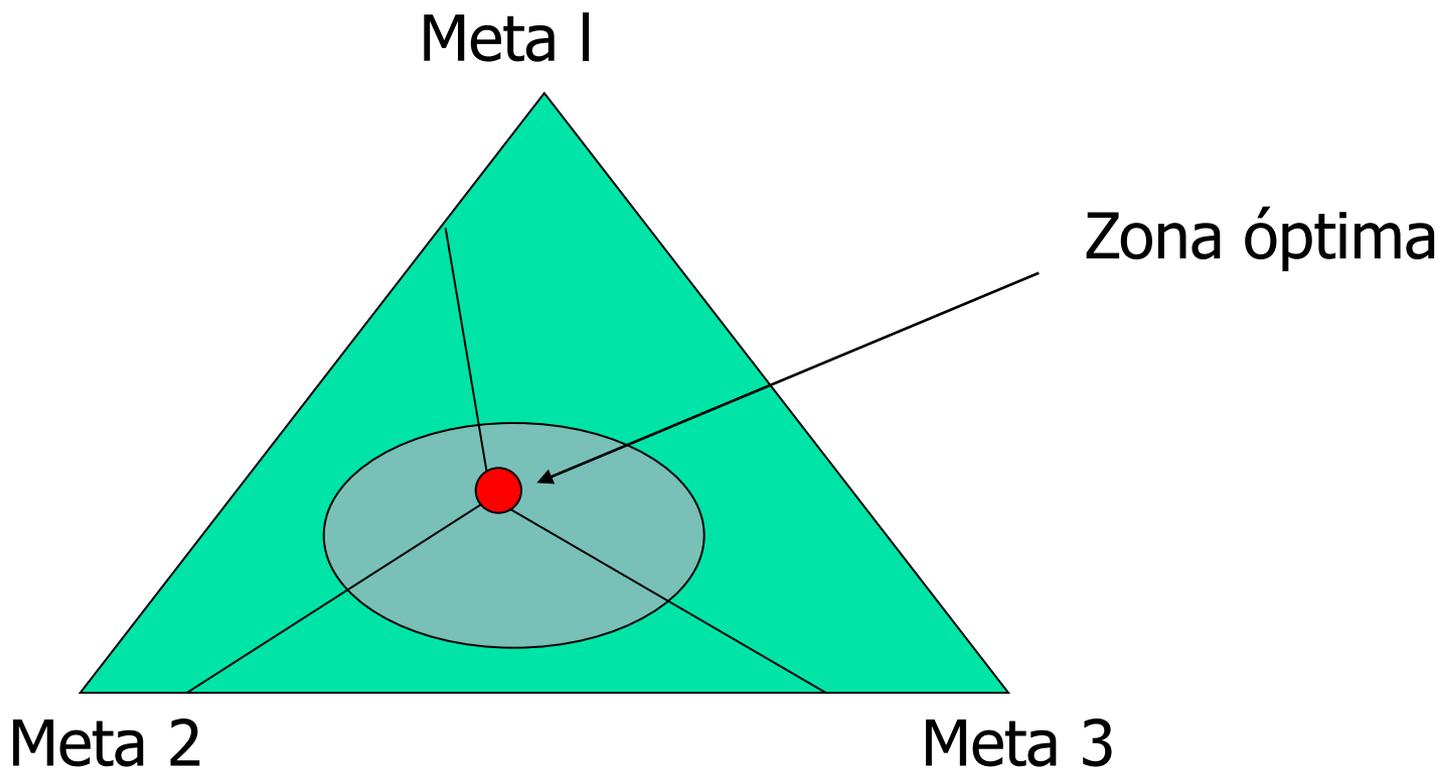
La toma de decisiones multicriterio



- Un problema puede considerarse como un problema multicriterio si y sólo si:
 - existen al menos dos criterios en conflicto
 - existen al menos dos alternativas de solución.
- Selecciona "la mejor alternativa " dentro de un conjunto explícito de ellas
- La decisión final se conforma con la ayuda de la comparación de los atributos.
- Constituye un marco general o paradigma en el que se investigan problemas de decisión con diferentes atributos, objetivos o metas.



Metas conflictivas



Ejemplo: La ampliación del canal

**Criterio de Selección de Ancho de Esclusas
Para 3 Rangos de Manga de Buque**

Criterio de Selección*	Manga de 44m (145')	Manga de 49m (160')	Manga de 55m (180')
Impacto en la Demanda (% de buques > 107' de la demanda potencial)	70% de la demanda potencial (Regular)	98% de la demanda potencial (Muy Bueno)	100% de la demanda potencial (Muy Bueno)
Monto de Inversión (millones de Balboas)	B/. 1,121 - 100% (Muy Bueno)	B/. 1,234 - 110% (Bueno)	B/. 1,402 - 125% (Bueno)
Capacidad Máxima (esclusajes/día)	14 esclusajes/día (Muy Bueno)	15 esclusajes/día (Muy Bueno)	16 esclusajes/día (Muy Bueno)
Utilización de Agua (esclusaje equivalente)	2.0 esclusajes (Muy Bueno)	2.3 esclusajes (Bueno)	2.5 esclusajes (Regular)
Riesgo Tecnológico (alto-medio-bajo)	Bajo Riesgo (Bueno)	Bajo Riesgo (Bueno)	Bajo Riesgo (Bueno)
Riesgo Operativo (alto-medio-bajo)	Alto Riesgo (Malo)	Riesgo Moderado (Regular)	Bajo Riesgo (Bueno)

*Con base en una esclusa de 3 niveles con eslora máxima de 366m (1,200'), calado máximo de 15.2m (50'), con compuertas rodantes, con remolcadores como sistema de posicionamiento de buques, sin tinas de reutilización de agua, realizando en promedio 10 esclusajes diarios con la demanda potencial más probable del AF 2025.

**Criterio de Selección de Largo de Esclusas
Para 3 Rangos de Eslora de Buque**

Criterio de Selección*	Eslora de 305m (1,000')	Eslora de 366m (1,200')	Eslora de 396m (1,300')
Impacto en la Demanda (% de buques > 107' de la demanda potencial)	60% de la demanda potencial (Malo)	100% de la demanda potencial (Muy Bueno)	100% de la demanda potencial (Muy Bueno)
Monto de Inversión (millones de Balboas)	B/. 1,121 - 100% (Muy Bueno)	B/. 1,234 - 110% (Bueno)	B/. 1,402 - 125% (Bueno)
Capacidad Máxima (esclusajes/día)	15 esclusajes/día (Muy Bueno)	15 esclusajes/día (Muy Bueno)	15 esclusajes/día (Muy Bueno)
Utilización de Agua (esclusaje equivalente)	1.9 esclusajes (Muy Bueno)	2.3 esclusajes (Bueno)	2.5 esclusajes (Regular)
Riesgo Tecnológico (alto-medio-bajo)	Riesgo Moderado (Regular)	Riesgo Moderado (Regular)	Riesgo Moderado (Regular)
Riesgo Operativo (alto-medio-bajo)	Riesgo Moderado (Regular)	Riesgo Moderado (Regular)	Riesgo Moderado (Regular)

*En base a una esclusa de 3 niveles, con manga máxima de 49m (160'), calado máximo de 15.2m (50'), con compuertas rodantes, con remolcadores como sistema de posicionamiento de buques, sin tinas de reutilización de agua, realizando en promedio 10 esclusajes diarios con la demanda potencial más probable del AF 2025.

Tomado del Plan Maestro del Canal, 2006 Capítulo 6



Ejemplo: La ampliación del canal



Matriz de Análisis de Alternativas de Agua									
Criterio de Decisión	Tinas de Reutilización de Agua			Reciclaje de Agua*	Subir el Lago Gatún a 69'	Profundizar Cauces a 30' PLD	Opción de Trinidad*	Opción de Alto Chagres*	Opción de Río Indio*
	1 Tina*	2 Tinas*	3 Tinas*						
Aspectos Técnicos y de Costo									
Rendimiento Hidrico (con 99% de confiabilidad volumétrica)	3 - 5 esclusajes	5 - 9 esclusajes	6 - 11 esclusajes	10 - 12 esclusajes	3-5 esclusajes	7-10 esclusajes	7 esclusajes	5 esclusajes	16 esclusajes
Costo de Inversión (en millones de balboas)	B/. 250 Millones	B/. 315 Millones	B/. 480 Millones	B/. 210 Millones	B/. 30 Millones	B/. 150 Millones	B/. 700 Millones	B/. 330 Millones	B/. 290 Millones
Aspectos Sociales y Ambientales:									
Impacto en Calidad de Agua (Posibilidad de intromisión de agua salada)	Poca Intromisión	Poca Intromisión	Poca Intromisión	Mucha Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión
Personas Afectadas (número de personas)	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	N / S	Ninguna	1,640 personas	263 personas	1,750 personas
Superficie Afectada Directamente (hectareas)	N / S	N / S	N / S	N / S	400 hectáreas	Ninguna	2,100 hectáreas	1,300 hectáreas	4,600 hectáreas
Impacto en la Biodiversidad (alto - regular - bajo)	Ningún impacto	Ningún impacto	Ningún impacto	Poco impacto en la biodiversidad	Ningún impacto	Ningún impacto	Pérdida de áreas boscosas	Pérdida de bosques primarios	Pérdida de áreas boscosas
Impacto Socio-Económico (alto - regular - bajo)	Ningún impacto	Ningún impacto	Ningún impacto	Ningún impacto	Adecuación de estructuras	Ningún impacto	Impacto en áreas rurales y semi-rurales	Impacto en áreas de reservas indígenas	Impacto en áreas rurales
N / S = No tiene impacto significativo *Opciones descartadas en el análisis final									



Tomado del Plan Maestro del Canal, 2006 Capítulo 7

H. R. Alvarez A., Ph. D.

Ejemplo: La ampliación del canal

Combinaciones de Alternativas de Suministro y Ahorro de Agua Incluidas en el Analisis Final											
Criterio de Selección	Impacto Social y Ambiental (40%)						Suministro de Agua (40%)			Monto de Inversión (20%)	
	Personas afectadas (número de personas)	Calidad de Agua (salinidad máxima, ppt)	Superficie de Áreas Afectadas (hectáreas)	Pérdida o Afectación de Infraestructuras (Balboas)	Pérdida de Producción (Balboas)	Pérdida de Áreas Boscosas (hectáreas)	Rendimiento Hidrico (Esclusajes equivalentes adicionales)	Confiabilidad de Calado (14m46' ADT)			VPN de la Inversión (millones de balboas)
								AF 2015	AF 2020	AF 2025	
Alternativa 1 - Subir Gatún AF 2015 - Profundizar AF 2015 - Río Indio AF 2015	1,750 personas	0.05 ppt	4,600 hectáreas	B/. 27 millones	B/. 200,000	984 hectáreas	27 esclusajes	99%	99%	97%	B/. 309 M
Alternativa 2 - Subir Gatún AF 2015 - Profundizar AF 2015 - 2 Tinas AF 2015	N/S	0.29 ppt	400 hectáreas	B/. 25 millones	Ninguna pérdida	N/S	26 esclusajes	99%	98%	97%	B/. 305 M
Alternativa 3 - Profundizar AF 2015 - Subir Gatún AF 2015 - 3 Tinas AF 2015	N/S	0.34 ppt	400 hectáreas	B/. 25 millones	Ninguna pérdida	N/S	29 esclusajes	99%	98%	98%	B/. 407 M

N/S = No tiene impacto significativo



Tomado del Plan Maestro del Canal, 2006 Capítulo 7



Historia



- Los primeros trabajos desarrollados fueron en Koopmans (1951) y de Kuhn & Tucker (1951).
- Otro trabajo crucial para el desarrollo del paradigma multicriterio es el desarrollado por Charnes, Cooper & Ferguson (1955)
- Fue mejorado posteriormente por Charnes & Cooper en 1961.





Historia



- Estas ideas pioneras fueron desarrollados por otros investigadores, culminando en el Primer Congreso Mundial sobre Toma de Decisiones Multicriterio en 1972.
- Puede considerarse el nacimiento del paradigma multicriterio.
- Puede decirse entonces que la teoría de la decisión monocriterio constituye el paradigma tradicional, que puede ser un caso particular del enfoque multicriterio.





Elementos



- Conjunto de alternativas
- Familia de criterios de evaluación
- Matriz de decisión de impactos
- Metodología o modelo de agregación de preferencias
- Proceso de toma de decisiones.





Conceptos Básicos: Atributos

- Valores con los que el centro decisor se enfrenta a un determinado problema de decisión.
- Es necesario que puedan medirse independientemente de los deseos del centro decisor.
- A su vez son susceptibles de expresarse como una función de las correspondientes variables de decisión.





Conceptos Básicos: Objetivos



- Representan direcciones de mejora de los atributos bajo consideración.
- La mejora puede interpretarse en el sentido «más del atributo mejor» o bien «menos del atributo mejor».





Conceptos Básicos: Metas



- Un nivel de aspiración representa un nivel aceptable de logro para el correspondiente atributo.
- La combinación de un atributo con un nivel de aspiración genera una meta.





Conceptos Básicos: Criterios

- Engloba los tres conceptos precedentes.
- Son los atributos, objetivos o metas que se consideran relevantes en un cierto problema de decisión.



Estructuración de los criterios



- Exhaustividad: Se incluyen todos los posibles criterios que permitan discriminar entre alternativas.
- Coherencia: Las preferencias globales del decisor son coherentes con las preferencias según cada criterio
- No redundancia: un criterio es no redundante si la supresión de un de los mismos implica que el conjunto de los restantes viola las propiedades anteriores.
- Independencia: aunque raramente se cumple en la práctica, indica la correlación entre criterios.





Normalización de criterios

- En general los criterios de evaluación tienden a ser diferentes.
- Al momento de la evaluación los criterios tienden a tener diferencias significativas
- Es esencial proceder a la normalización de los diferentes criterios en consideración.



Normalización de criterios

- Uno de los métodos más simples consiste en dividir los valores que alcanza el criterio por su «mejor» valor.
- El valor mejor es el máximo cuando el criterio consiste en un atributo del tipo «más mejor» o el mínimo cuando se trata de un atributo del tipo «menos mejor».
- Después de normalizar, el estándar será «más mejor», donde 1 es «mejor»



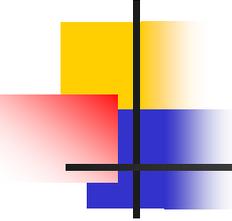
Ejemplo: Selección de un caza



	Atributos			
Alternativa	Velocidad (km/h)	Carga (ton)	Costo (Millones \$)	Maniobrabilidad (1-10)
A	1,400	10	50	9
B	1,700	10	60	7
C	1,400	12	50	8
D	1,800	7	70	7
E	1,500	9	60	9
F	1,800	6	70	6

Tomado de Romero (1996)





El caso de los costos:

$$\text{Costo} = \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)}$$

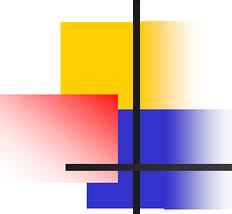


Tabla normalizada



	Atributos			
Alternativa	Velocidad	Carga	Costo	Maniobrabilidad
A	0.78	0.83	1.00	1.00
B	0.94	0.83	0.50	0.78
C	0.78	1.00	1.00	0.89
D	1.00	0.58	0.00	0.78
E	0.83	0.75	0.50	1.00
F	1.00	0.50	0.00	0.67





SMART

1. Identificar al decisor
2. Identificar los criterios
3. Identificar las alternativas
4. Identificar las escalas de los atributos (normalización)
5. Definir los pesos de los criterios
6. Calcular la importancia de cada criterio
7. Calcular el valor $s_{j,k}$ de cada uno de los atributos
8. Calcular el valor o puntaje v total de cada alternativa tal que $W_j = \sum_k r_k s_{j,k}$



Ponderación de los criterios

- Los criterios pueden tener diferente importancia para el centro decisor.
- La estimación de las preferencias relativas conlleva una fuerte carga subjetiva
- Es necesario una interrelación estrecha con el decisor.



Ponderación directa o por preferencias



- La forma más sencilla consiste en pedir al decisor que clasifique los criterios por orden de importancia.
 - Es decir, se solicita al decisor que asigne el número 1 al criterio que considere más importante, el número 2 al criterio siguiente en importancia hasta asignar el número n al criterio que considera menos importante.
- Este valor se conoce como r_j , para $j = 1, \dots, n$



El peso de cada atributo



$$W_j = \frac{1/r_j}{\sum_{j=1}^n 1/r_j}$$

(a)

$$W_j = \frac{n - r_j + 1}{\sum_{j=1}^n (n - r_j + 1)}$$

(b)



Cálculo de las ponderaciones



	Atributos			
	Velocidad	Carga	Costo	Maniobrabilidad
j	1	2	3	4
Importancia r_j	2	4	3	1
Inverso $1/r_j$	0.5	0.25	0.3	1
(a)	0.24	0.12	0.16	0.48
n-r+1	3	1	2	4
(b)	0.3	0.1	0.2	0.4



	Atributos			
Alternativa	Velocidad	Carga	Costo	Maniobrabilidad
	0.24	0.12	0.16	0.48
A	0.78	0.83	1.00	1.00
B	0.94	0.83	0.50	0.78
C	0.78	1.00	1.00	0.89
D	1.00	0.58	0.00	0.78
E	0.83	0.75	0.50	1.00
F	1.00	0.50	0.00	0.67



$$W_i = \sum_{j=1}^n w_j s_{i,j}$$

para $i = 1, \dots, m$

donde m es el número

total de alternativas y

$s_{i,j}$ es el peso del atributo j

para la alternativa i

Alternativa	Totales Ponderados
A	0.927
B	0.780
C	0.894
D	0.684
E	0.849
F	0.622



Ejemplo



	Experiencia	Salario	Localización	Carga de Trabajo	Viajes
Pesos	45	30	20	15	10

10 es el valor de menor importancia

Alternativas de trabajo	Big 5	Dot.com	Banco local
-------------------------	-------	---------	-------------



Calculo de ponderaciones para pesos directos



$$W_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j}$$



Cálculo de las ponderaciones



	Experiencia	Salario	Localización	Carga de Trabajo	Viajes	Total
Pesos	45	30	20	15	10	
Importancia r_j	1	2	3	4	5	
$1/r_j$	1	0.5	0.33	0.25	0.2	
W_j	0.44	0.22	0.15	0.11	0.09	
Big 5	9	8	7	2	3	7.20
Dotcom	10	7	9	8	10	8.98
Banco local	3	5	1	1	4	3.01



Aplicando SMART



	Experiencia	Salario	Localización	Carga de Trabajo	Viajes	Peso total
Pesos	45	30	20	15	10	
Pesos ponderados directos	0.375	0.250	0.167	0.125	0.083	
Big 5	9	8	7	2	3	7.042
Dotcom	10	7	9	8	10	8.883
Banco local	3	5	1	1	4	3.000

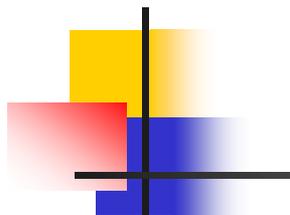


Dificultades de la ponderación directa

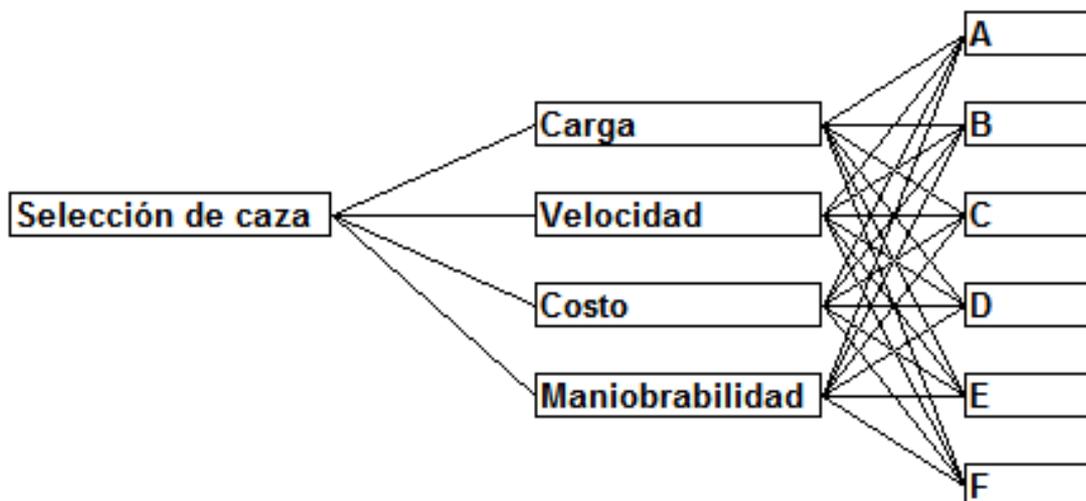


- Subjetividad
- Se tiene una idea del grado de preferencia, pero no de la intensidad de preferencia de un atributo con respecto a otro
- El ordenar muchos criterios puede ser muy difícil.





Alternatives
A
B
C
D
E
F



Lowest Level	A	B	C	D	E	F	Model
Carga	0.830	0.830	1.000	0.580	0.750	0.500	0.044
Velocidad	0.780	0.940	0.780	1.000	0.830	1.000	0.313
Costo	1.000	0.500	1.000	0.000	0.500	0.000	0.244
Maniobrabilidad	1.000	0.780	0.890	0.780	1.000	0.670	0.399
Results	0.924	0.764	0.887	0.650	0.814	0.602	



Procesos analíticos jerarquizados (método AHP)



- Desarrollado por Thomas Saaty en la década de los '70
- Su importancia radica en la fuerte interacción con el centro decisor
- Énfasis en relaciones jerárquicas
- Se basa en la generación de $n(n-1)/2$ relaciones subjetivas de pareja
- No es necesario conocer información cuantitativa de los resultados de las alternativas





Etapas generales - 1

- Desarrollar ponderación de criterios
 - Matriz de comparación por pares de congruencia
 - Normalizar matriz
 - Promediar
 - Calcular y determinar consistencia



Etapas generales - 2

- Jerarquías para las diferentes alternativas
 - Desarrollar matriz de comparación de alternativas para cada criterio
 - Normalizar
 - Determinar clasificación correspondiente
 - Calcular la relación de consistencia
- Definir matriz con pesos y factores
- Determinar la mejor alternativa





Ponderación pareada

- Desarrollado por Saaty, es la base del método AHP
- Requiere la comparación simultánea de sólo dos objetivos. Es decir una comparación de valores subjetivos por «parejas».



Valores de preferencia

- (1) cuando los criterios son de la misma importancia;
- (3) moderada importancia de un criterio con respecto a otro;
- (5) fuerte importancia;
- (7) demostrada importancia;
- (9) extrema importancia.
- Saaty sugiere valores intermedios para juicios de valor contiguos.



Ejemplo: selección de un caza



	Atributos			
	Velocidad	Carga	Costo	Maniobrabilidad
Velocidad	1	7	2	1/2
Carga	1/7	1	1/5	1/9
Costo	1/2	5	1	1
Maniobrabilidad	2	9	1	1



Ponderaciones pareadas



	Promedio	Ponderación
Velocidad	2.6	0.32
Carga	0.4	0.05
Costo	1.9	0.23
Maniobrabilidad	3.3	0.40



Tabla comparativa de ponderaciones



	Ponderación directa		Pareada
	(a)	(b)	
Velocidad	0.24	0.3	0.32
Carga	0.12	0.1	0.05
Costo	0.16	0.2	0.23
Maniobrabilidad	0.48	0.4	0.40



Ejemplo: Selección de un caza



	Atributos			
Alternativa	Velocidad (km/h)	Carga (ton)	Costo (Millones \$)	Maniobrabilidad (1-10)
A	1,400	10	50	9
B	1,700	10	60	7
C	1,400	12	50	8
D	1,800	7	70	7
E	1,500	9	60	9
F	1,800	6	70	6

Tomado de Romero (1996)



Velocidad (0.32)



	A	B	C	D	E	F	Promedio
A	1	1/2	1	1/4	1/2	1/4	0.58
B	2	1	3	1/2	2	1/2	1.50
C	1	1/3	1	1/4	1/2	1/4	0.56
D	4	2	4	1	3	1	2.50
E	2	1/2	2	1/3	1	1/3	1.03
F	4	2	4	1	3	1	2.5



Carga (0.05)

	A	B	C	D	E	F
A	1	1	1/2	3	2	5
B		1				
C	2		1			
D				1		
E					1	
F						1



Costo (0.23)



	A	B	C	D	E	F
A						
B						
C						
D						
E						
F						



Maniobrabilidad (0.40)



	A	B	C	D	E	F
A						
B						
C						
D						
E						
F						

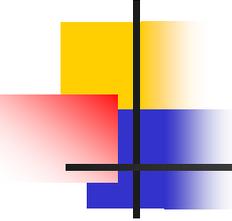


Tabla final de ponderación



	Velocidad	Carga	Costo	Maniobra	Total Ponderado
	0.32	0.05	0.23	0.4	1.00
A	0.58				
B	1.50				
C	0.56				
D	2.50				
E	1.03				
F	2.5				





Ventajas



- El método es simple
- Permite utilizar juicios y observaciones para establecer relaciones
- Proporciona un medio único para cuantificar la consistencia del juicio





Desventajas



- Vaguedad del procedimiento de cuestionamiento
- Reversión de la clasificación al introducir una nueva alternativa
- Inclusión de beneficios y costos

