



# Programación multicriterio: Métodos multicriterio discretos





# Métodos de evaluación

- Ponderación lineal
- Utilidad multiatributo
- Análisis jerárquico (AHP)
- Relaciones de superación



# Teoría de Utilidad Multiatributo



- Sea  $v_k$  el puntaje de cada alternativa, para  $k = 1, 2, \dots, m$
- Identifica que es importante (jerarquías)
- Define importancias relativas (pesos)
- Identifica claramente el valor normalizado  $s$  de cada atributo para cada alternativa



# Determinación de $v_k$

- Puede ser lineal  $v_j = \sum w_k s_{jk}$
- O no lineal  $v_j = \{\Pi(1 + Kk_j s_{jk}) - 1\} / K$
- Los valores de  $k$  y  $K$  son coeficientes no lineales de normalización
- Los valores de  $s$  son subjetivos y son función del riesgo





# 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  $s$  de cada uno de los atributos
8. Calcular el valor o puntaje  $v$  total de cada alternativa tal que  $v_j = \sum w_k s_{jk}$



# 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
-------------------------	-------	---------	-------------



# Aplicando SMART



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



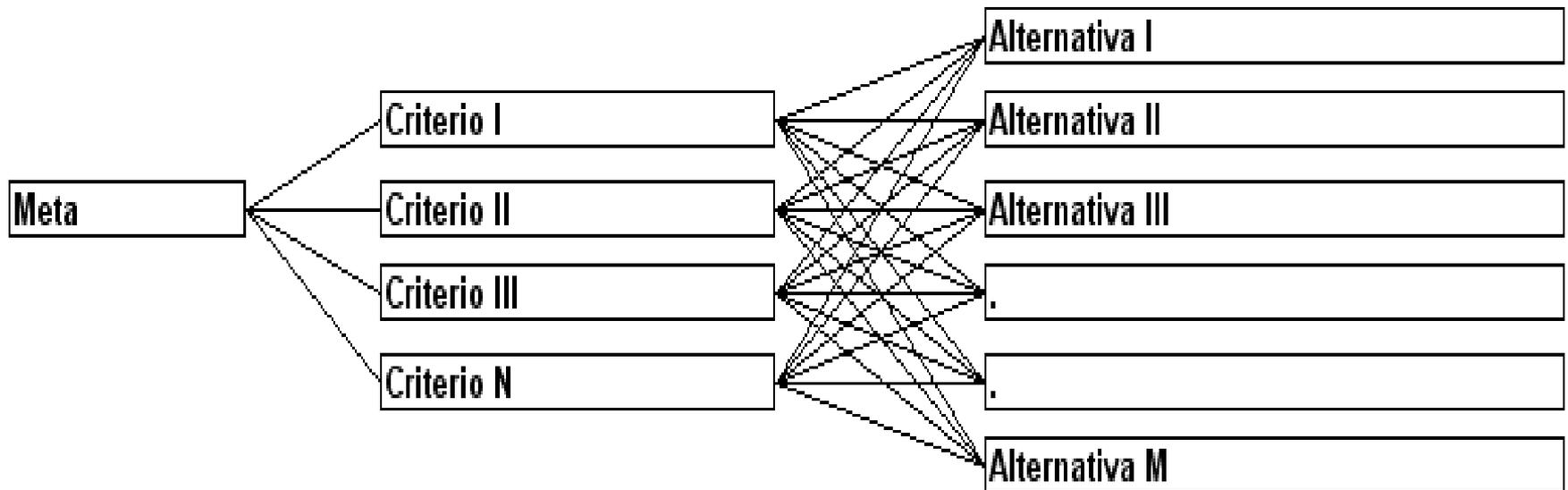
# Procesos analíticos jerarquizados (método AHP)



- 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



# Diagramas de jerarquías





# 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



# 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.





# Determinación de la consistencia



- AHP permite medir el grado de consistencia presente en los juicios relativos
- Se relaciona con la transitividad de las preferencias en las matrices de comparación pareadas



# Determinación de la consistencia

- Sea  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ,  $n$  criterios de selección con pesos conocidos  $w_1, w_2, \dots, w_n$
- Sea  $\mathbf{A}$  la matriz de preferencias pareadas
- Sea  $\lambda_{\max}$  el valor propio máximo de  $\mathbf{A}$  tal que

$$(\mathbf{A} - \lambda_{\max} \mathbf{I})\mathbf{w} = 0, \text{ tal que}$$

$$\mathbf{A}\mathbf{w} = \lambda_{\max} \mathbf{w}'$$



# Índice de consistencia

$$\text{Sea } \mathbf{B} = \mathbf{A}w$$

$$\text{Sea } D = B' * \frac{1}{w}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

$$\text{I.C.} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$



# Coeficiente de consistencia

- Saaty definió una serie de índices aleatorios de consistencia,

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...
R. I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.19	1.51	...

- El coeficiente de consistencia estará dado por:

$$C.R. = \frac{I.C.}{R.I} \leq 0.10$$





# Ejemplo: Trazado de autopista

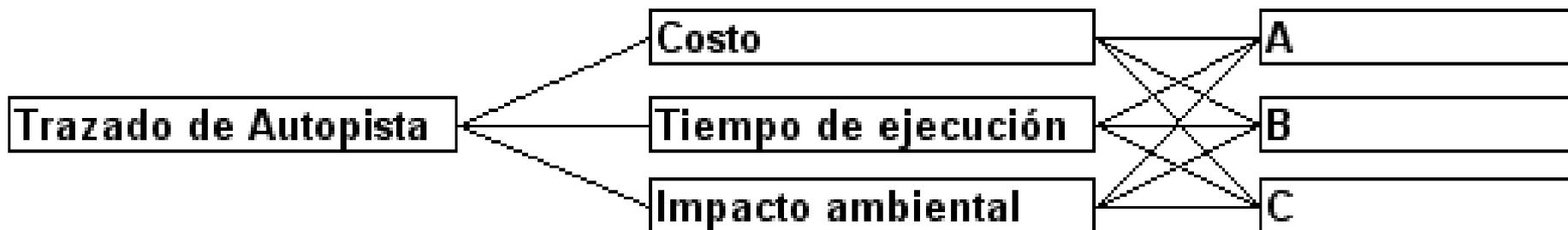
---



- Hay tres criterios para la selección
  - Costo
  - Impacto ambiental
  - Tiempo de ejecución
- Hay tres alternativas
  - A, B, C



# Jerarquías



# Ponderaciones de criterios



	Costo	Impacto	Tiempo	Promedio	Pesos
Costo	1	2	5	2 2/3	0.57
Impacto	1/2	1	3	1 1/2	0.32
Tiempo	1/5	1/3	1	1/2	0.11

Tomado de Romero, 1996



## Ponderaciones de alternativa por: Costo

	A	B	C	Promedio	Pesos
A	1	6	3	3 1/3	0.667
B	1/6	1	1/2	5/9	0.111
C	2	1	1	1 1/9	0.222



## Ponderaciones de alternativa por: Impacto

	A	B	C	Promedio	Pesos
A	1	1/9	1/5	3/7	0.066
B	9	1	2	4	0.606
C	5	1/2	1	2 1/6	0.328

## Ponderaciones de alternativa por: Tiempo

	A	B	C	Promedio	Pesos
A	1	1/2	1/4	3/5	0.143
B	2	1	1/2	1 1/6	0.289
C	4	2	1	2 1/3	0.571



# Matriz de pesos globales



Alternativas	Costo del proyecto 0.57	Impacto Ambiental 0.32	Tiempo de ejecución 0.11	Pesos globales
A	0.667	0.066	0.143	0.41704
B	0.111	0.606	0.289	0.28898
C	0.222	0.328	0.571	0.29431





# 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



# 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 89'	Profundizar Cauces a 30' PLD	Opción de Trinidad*	Opción de Alto Chagres*	Opción de Río Indio*
	1 Tina*	2 Tinas*	3 Tinas						
<b>Aspectos Técnicos y de Costo</b>									
<b>Rendimiento Hidrico</b> (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
<b>Costo de Inversión</b> (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
<b>Aspectos Sociales y Ambientales:</b>									
<b>Impacto en Calidad de Agua</b> (Posibilidad de intromisión de agua salada)	Poca Intromisión	Poca Intromisión	Poca Intromisión	Mucha Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión
<b>Personas Afectadas</b> (número de personas)	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	N / S	Ninguna	1,640 personas	263 personas	1,750 personas
<b>Superficie Afectada Directamente</b> (hectareas)	N / S	N / S	N / S	N / S	400 hectáreas	Ninguna	2,100 hectáreas	1,300 hectáreas	4,600 hectáreas
<b>Impacto en la Biodiversidad</b> (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
<b>Impacto Socio-Económico</b> (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	
<b>Alternativa 1</b> - 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
<b>Alternativa 2</b> - 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
<b>Alternativa 3</b> - 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

