



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y
GEOMÁTICA

INGENIERÍA DE SISTEMAS

CONSTRUCCIÓN DEL CANAL INTEROCEÁNICO

TEHUANTEPEC

PROFESOR: DR. JUAN ANTONIO DEL VALLE FLORES

ALUMNO: HERNÁNDEZ BUSTOS JOSÉ MANUEL

GRUPO: 04

SEMESTRE: 2016-2

26-MAYO-2016

Introducción

La toma de decisiones es una actividad relacionada a todos los individuos, sociedades y organizaciones, la cual resulta muy importante ya que de ella depende el cumplimiento de objetivos y metas que pueden ser vitales para el desarrollo y la supervivencia.

En la toma de decisiones podemos identificar tres grandes fases:

- ✓ Encontrar las ocasiones para la toma de decisiones.
- ✓ Hallar los posibles cursos de acción.
- ✓ Elegir entre los cursos de acción.

Objetivo

Aplicar los conocimientos adquiridos en la clase de Ingeniería de Sistemas utilizando la Teoría de Decisiones a un problema real que ocupe a nuestro país.

PROYECTO.

1. Definición del proyecto

Con la finalidad de mejorar la situación económica de México se estudiaron alternativas para conectar el océano Pacífico con el Golfo de México, lo cual resulta muy importante ya que puede mejorar enormemente el comercio interno y el comercio internacional.

Para lo anterior se propone la construcción de un canal interoceánico que conecte el océano Pacífico con el Golfo de México, este canal unirá los puertos de Salina Cruz en el estado de Oaxaca y el de Coatzacoalcos en el estado de Veracruz a través del Istmo de Tehuantepec.

El canal interoceánico traerá al país grandes beneficios como:

- Se tendría una vía marítima de comunicación entre nuestros puertos del Golfo y el Pacífico con la cual ayudaría a fomentar el comercio interno y sería una buena alternativa a las carreteras y a los pésimos ferrocarriles con los que contamos.
- La inversión requerida le daría un impulso extraordinario al desarrollo de los estados más pobres del país.
- Se generaría empleo temporal para la construcción y empleo permanente para su operación y una derrama económica extraordinaria en esa zona tan pobre del país.

- Sería un gran generador de ingresos y divisas para el gobierno por los derechos de paso que pagarían los barcos.

1.1 Elementos del problema

- a) El decisor: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
- b) El analista: El mismo constructor
- c) Las alternativas:
 - Alternativa 1 – Elegir a Ingenieros Civiles Asociados (ICA) como empresa constructora.
 - Alternativa 2 – Elegir a HKND Group como empresa constructora.
 - Alternativa 3 – Elegir a MECO como empresa constructora.
- d) Los estados de la naturaleza:

Dada la competencia que se tendrá con el canal de Panamá y también con la construcción del canal de Nicaragua que está en construcción es necesario que la construcción del Canal Interoceánico Tehuantepec se concrete en un tiempo y costo razonable cumpliendo con los más altos estándares de calidad y eficiencia.

Para realizar el análisis se tomará el tiempo de construcción como parámetro que nos defina los estados de la naturaleza:

→ E1= Poco (4 años): implica que la operación del canal comenzará pronto con lo cual el transporte de carga comenzará a generar ganancias inmediatamente, se generaran empleos por 4 años y supondrá mayores gastos en cuanto a mano de obra y maquinaria ya que será necesaria un mayor cantidad de éstos.

→ E2= Medio (7 años): tiempo medio para la construcción del canal, no se comenzará prontamente con la operación ni se generaran empleos por un tiempo prolongado pero los gastos pueden ser más equilibrados en cuanto a mano de obra y maquinaria.

→ E3= Mucho (10 años): implica la generación de empleos debido a la mano de obra utilizada por 10 largos años, así como la renta de maquinaria pero se tomará un mayor tiempo para comenzar con la operación del canal.

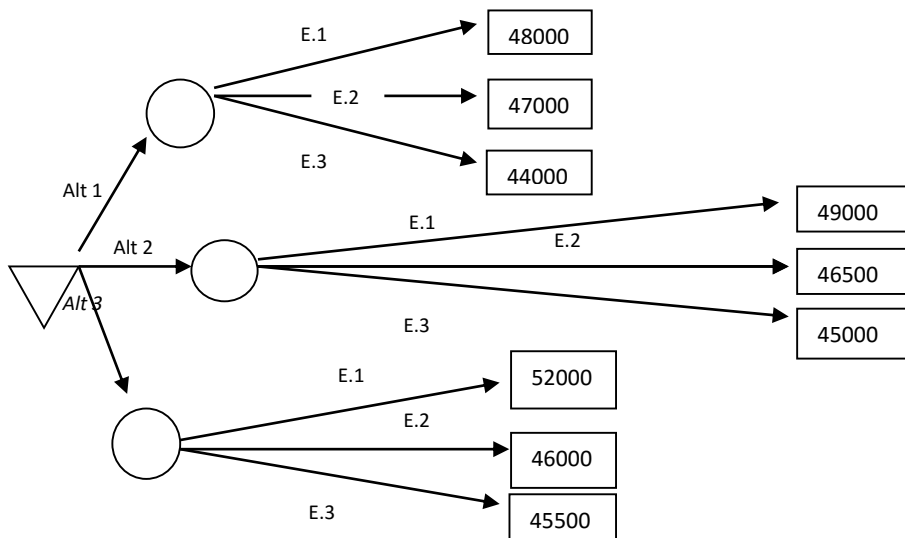
1.2 Representación del problema en forma matricial

	Poco	Medio	Mucho
ICA	48000	47000	44000
HKND	49000	46500	45000
MECO	52000	46000	45500

*costos de construcción en millones de dólares.

**NOTA: SE HA REVISADO EL PROBLEMA Y NO EXISTE DOMINANCIA,
POR LO CUAL PROCEDEMOS A APLICAR LA TEORIA DE
DECISIONES.**

1.3 Modelo grafico del problema.



2. Toma de decisiones bajo incertidumbre

2.1 Criterio Minimax

	E1	E2	E3
Alt1	48000	47000	44000
Alt2	49000	46500	45000
Alt3	52000	46000	45500

Utilizando este criterio se elegiría la alternativa 1, ya que es la que implica el menor de los máximos costos de construcción.

2.2 Criterio Minimin

	E1	E2	E3
Alt1	48000	47000	44000
Alt2	49000	46500	45000
Alt3	52000	46000	45500

Utilizando este criterio se elegiría la alternativa 1, ya que es la que implica el menor de los costos mínimos.

2.3 Criterio de Hurwics

Se eligen los mejores valores (rojo) y los peores valores (azul) para cada alternativa.



	E1	E2	E3
Alt1	48000	47000	44000
Alt2	49000	46500	45000
Alt3	52000	46000	45500

Sea $\beta = 0.80$ entonces:

$$V(A1) = 0.80(44000) + 0.20(48000) = 44800$$

$$V(A2) = 0.80(45000) + 0.20(49000) = 45800$$

$$V(A3) = 0.80(45500) + 0.20(52000) = 46800$$

Con este criterio se elegiría la alternativa 1.

2.4 Criterio de Laplace

Con este criterio se le asigna a cada estado de la naturaleza una probabilidad de 0.33, por lo que se procede a calcular su valor esperado.

	E1	E2	E3
Alt1	48000	47000	44000
Alt2	49000	46500	45000
Alt3	52000	46000	45500

$$V(A1) = 0.33(48000) + 0.33(47000) + 0.33(44000) = 45870$$

$$V(A2) = 0.33(49000) + 0.33(46500) + 0.33(45000) = 46365$$

$$V(A3) = 0.33(52000) + 0.33(46000) + 0.33(45500) = 47355$$

Con este criterio se elegiría la alternativa 1, ya que tiene el menor valor esperado, recordando que se trata de costos.

2.5 Criterio de Savage (Modelo de arrepentimientos)

	E1	E2	E3
Alt1	48000	47000	44000
Alt2	49000	46500	45000
Alt3	52000	46000	45500

Quedando la matriz de arrepentimientos:

	E1	E2	E3
Alt1	0	1000	0
Alt2	1000	500	1000
Alt3	4000	0	1500

Nota: al realizar las operaciones se consideró el signo negativo asociado al tratarse de costos.



Con este criterio se elegiría la alternativa 1, ya que presenta el menor de los arrepentimientos.

3. Toma de decisiones bajo condiciones de Riesgo

	E1 P(?)	E2 P(?)	E3 P(?)
Alt1	48000	47000	44000
Alt2	49000	46500	45000
Alt3	52000	46000	45500

Alternativas:

- Alternativa 1 – Elegir a Ingenieros Civiles Asociados (ICA) como empresa constructora.
- Alternativa 2 – Elegir a HKND Group como empresa constructora.
- Alternativa 3 – Elegir a MECO como empresa constructora.

Estados de la Naturaleza:

E1= Poco (4 años)

E2= Medio (7años)

E3= Mucho (10años)

3.1 Minimización del valor esperado

	E1 P(0.32)	E2 P(0.43)	E3 P(0.25)
Alt1	48000	47000	44000
Alt2	49000	46500	45000
Alt3	52000	46000	45500

$$VE(A1)=0.32(48000)+0.43(47000)+0.25(44000)= 46570$$

$$VE(A2)=0.32(49000)+0.43(46500)+0.25(45000)= 46925$$

$$VE(A3)=0.32(52000)+0.43(46000)+0.25(45500)= 47795$$

Dado que A1 y A2 son muy cercanos, procedemos a calcular su varianza:

$$Var(A1)= 0.32(48000-46570)^2+0.43(47000-46570)^2+0.25(44000-46570)^2= 2,385,100$$

$$Var(A2)= 0.32(49000-46925)^2+0.43(46500-46925)^2+0.25(45000-46925)^2= 2,381,875$$

Con este criterio elegiría la alternativa 1 ya que tiene un valor esperado menor, y su varianza no difiere mucho de la otra alternativa que se le acerco.

3.2 Criterio del más probable futuro

	E2 P(0.43)
Alt1	47000
Alt2	46500
Alt3	46000

Con este criterio la alternativa elegida seria la 3, sin embargo no resulta muy conveniente su aplicación debido a que no se tiene una probabilidad realmente dominante en algún estado de la naturaleza.

3.3 Criterio del nivel esperado

	E1 P(0.32)	E2 P(0.43)	E3 P(0.25)
Alt1	48000	47000	44000
Alt2	49000	46500	45000
Alt3	52000	46000	45500

Se espera no tener que invertir más de 48000 millones de dólares en la construcción del canal interoceánico.

Para costo \leq 48000

Para Alt1

$$P(\text{costo} \leq 48000) = 0.32 + 0.43 + 0.25 = 1$$

Para Alt2

$$P(\text{costo} \leq 48000) = 0.43 + 0.25 = 0.68$$

Para Alt3

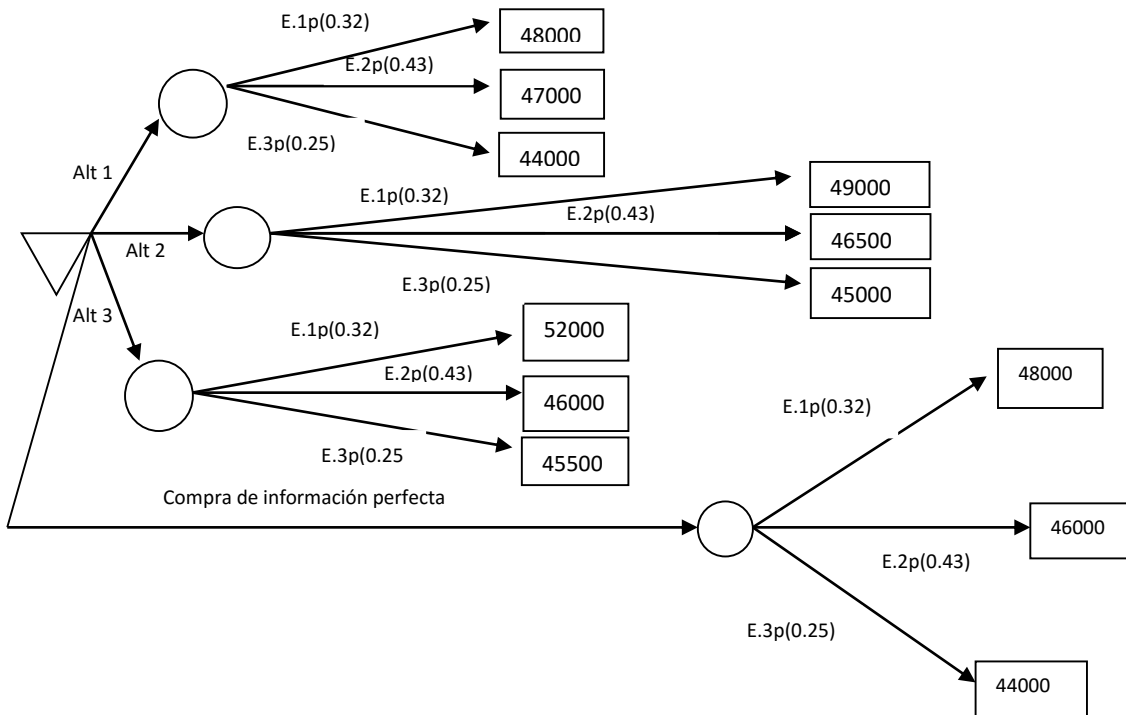
$$P(\text{costo} \leq 48000) = 0.43 + 0.25 = 0.68$$

Con este criterio se elegiría la alternativa 1, ya que es la que tiene mayor probabilidad de cumplir con la condición esperada de no invertir más de 48000 millones de dólares.

4. Valor de la información

4.1 Adquirir información perfecta

La mejor alternativa según el valor esperado es la primera:
 $VE(A1)=0.32(48000)+0.43(47000)+0.25(44000)= 46570$



$VE/IP=0.32(48000)+0.43(46000)+0.25(44000)= 46140$

4.2 Adquirir información imperfecta

	E1 P(0.32)	E2 P(0.43)	E3 P(0.25)
Alt1	48000	47000	44000
Alt2	49000	46500	45000
Alt3	52000	46000	45500

Procedemos a calcular las probabilidades

Adquiriendo información imperfecta (posibles resultados).

A1: favorable para **Alt. 1**



A2: favorable para **Alt. 2**

A3: favorable para **Alt. 3**

Probabilidades condicionales:

$P(A1/E1) = 0.2$	$P(A2/E1) = 0.14$	$P(A3/E1) = 0.55$
$P(A1/E2) = 0.7$	$P(A2/E2) = 0.23$	$P(A3/E2) = 0.33$
$P(A1/E3) = 0.1$	$P(A2/E3) = 0.63$	$P(A3/E3) = 0.12$

Probabilidades posteriores (Probabilidad Total):

$$P(A1) = P(A1/E1) * P(E1) + P(A1/E2) * P(E2) + P(A1/E3) * P(E3).$$

$$= (0.2) (0.32) + (0.7) (0.43) + (0.1) (0.25)$$

$$= \mathbf{0.39}$$

$$P(A2) = P(A2/E1) * P(E1) + P(A2/E2) * P(E2) + P(A2/E3) * P(E3).$$

$$= (0.14) (0.32) + (0.23) (0.43) + (0.63) (0.25)$$

$$= \mathbf{0.3012}$$

$$\begin{aligned}P(A3) &= P(A3/E1) * P(E1) + P(A3/E2) * P(E2) + P(A3/E3) * P(E3). \\ &= (0.55)(0.32) + (0.33)(0.43) + (0.12)(0.25) \\ &= \mathbf{0.3479}\end{aligned}$$



Cálculo de las probabilidades condicionales (Teorema de Bayes).

$$P(E1/A1) = [P(A1/E1) * P(E1)] / P(A1) = 0.164$$

$$P(E2/A1) = [P(A1/E2) * P(E2)] / P(A1) = 0.77$$

$$P(E3/A1) = [P(A1/E3) * P(E3)] / P(A1) = 0.06$$

$$P(E1/A2) = [P(A2/E1) * P(E1)] / P(A2) = 0.148$$

$$P(E2/A2) = [P(A2/E2) * P(E2)] / P(A2) = 0.328$$

$$P(E3/A2) = [P(A2/E3) * P(E3)] / P(A2) = 0.522$$

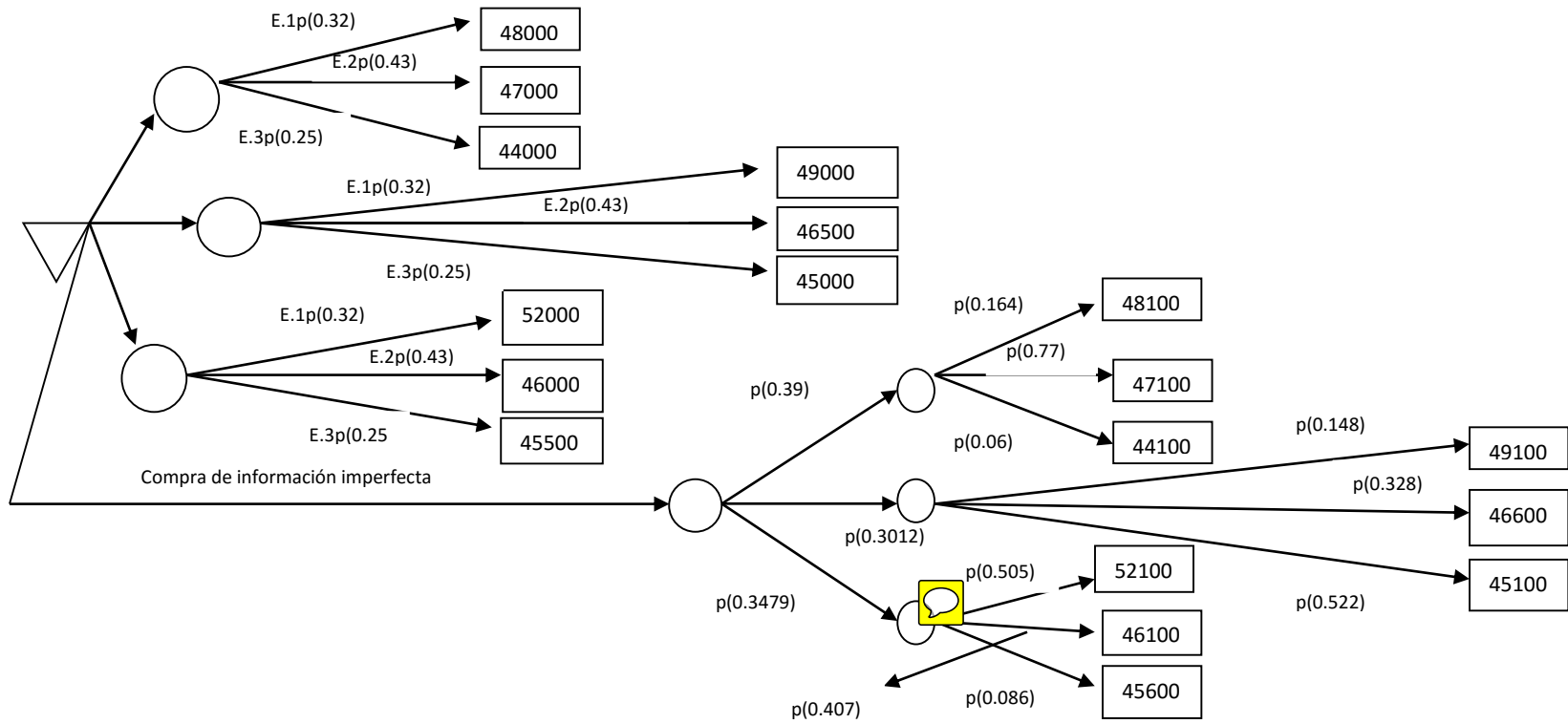
$$P(E1/A3) = [P(A3/E1) * P(E1)] / P(A3) = 0.505$$

$$P(E2/A3) = [P(A3/E2) * P(E2)] / P(A3) = 0.407$$

$$P(E3/A3) = [P(A3/E3) * P(E3)] / P(A3) = 0.086$$

Con las probabilidades calculadas procedemos a trazar el diagrama de árbol que ilustre mejor el problema:

Se supone un costo de 100 unidades por la compra de información imperfecta, que se ve reflejada en los nodos finales.



Ahora resolvemos el diagrama de árbol:

$$VE(A1)=0.32(48000)+0.43(47000)+0.25(44000)= 46570$$

$$VE(A2)=0.32(49000)+0.43(46500)+0.25(45000)= 46925$$

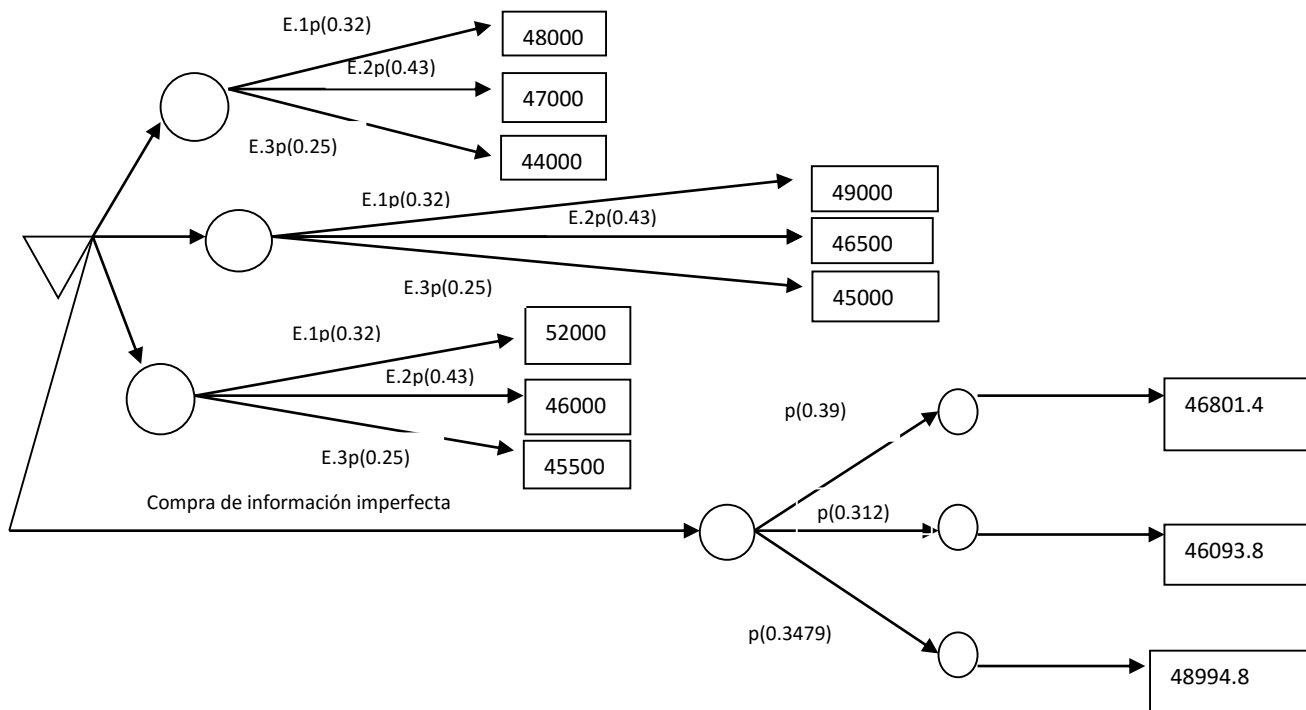
$$VE(A3)=0.32(52000)+0.43(46000)+0.25(45500)= 47795$$

Para el caso de los valores esperados de las alternativas dada la información imperfecta tenemos:

$$VE(A1/II)=0.164(48100)+0.77(47100)+0.06(44100)= 46801.4$$

$$VE(A2/II)=0.148(49100)+0.328(46600)+0.522(45100)= 46093.8$$

$$VE(A3/II)=0.505(52100)+0.407(46100)+0.086(45600)= 48994.8$$



Por lo tanto el valor esperado de la información imperfecta es:

$$VE(II)= 0.39(46801.4)+0.312(46093.8)+0.3479(48994.8)= 49679.10252$$



Lo anterior indica que es conveniente adquirir información imperfecta y que la alternativa a elegir sería la alternativa 1.

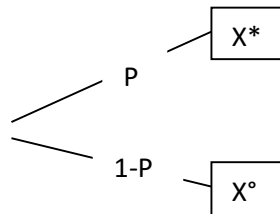
5. Enfoque de utilidad en las Decisiones

5.1 Método Cuestionando probabilidades

	E1 P()	E2 P()	E3 P()
Alt1	48000	47000	44000
Alt2	49000	46500	45000
Alt3	52000	46000	45500

*Costos en millones de dólares.

- E1



$$U(48000)=1 \quad U(52000)=0$$

Para $X_i = 49000$ si $P=0.70$

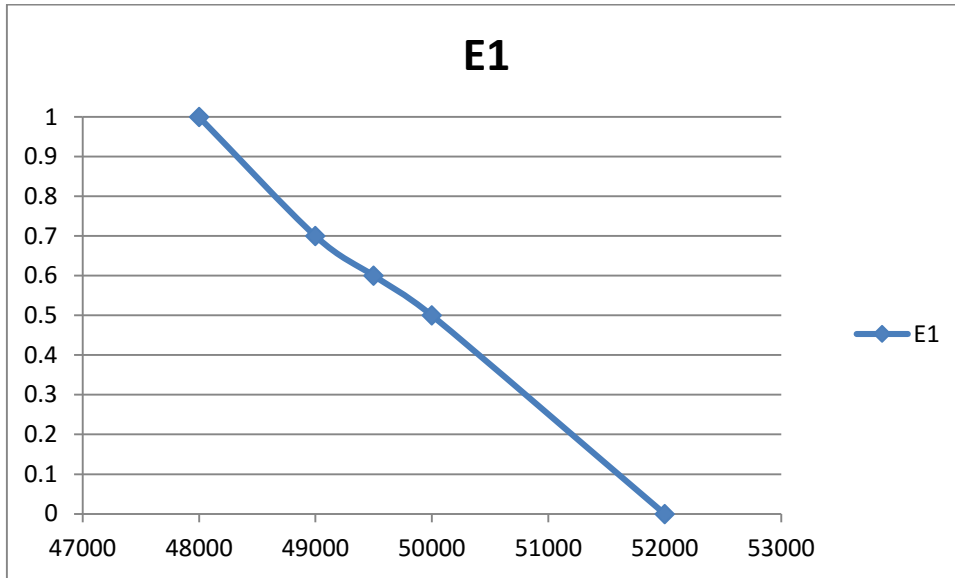
Por lo tanto, $U(49000) = 0.7(1) + 0.3(0) = 0.70$

Para $X_i = 49500$ si $P=0.60$

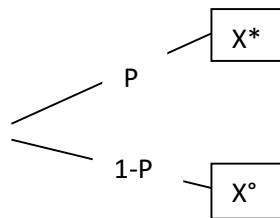
Por lo tanto, $U(49500) = 0.6(1) + 0.4(0) = 0.60$

Para $X_i = 50000$ si $P=0.50$

Por lo tanto, $U(50000) = 0.5(1) + 0.5(0) = 0.50$



- E2



$$U(46000)=1 \quad U(47000)=0$$

Para $X_i = 46500$ si $P=0.80$

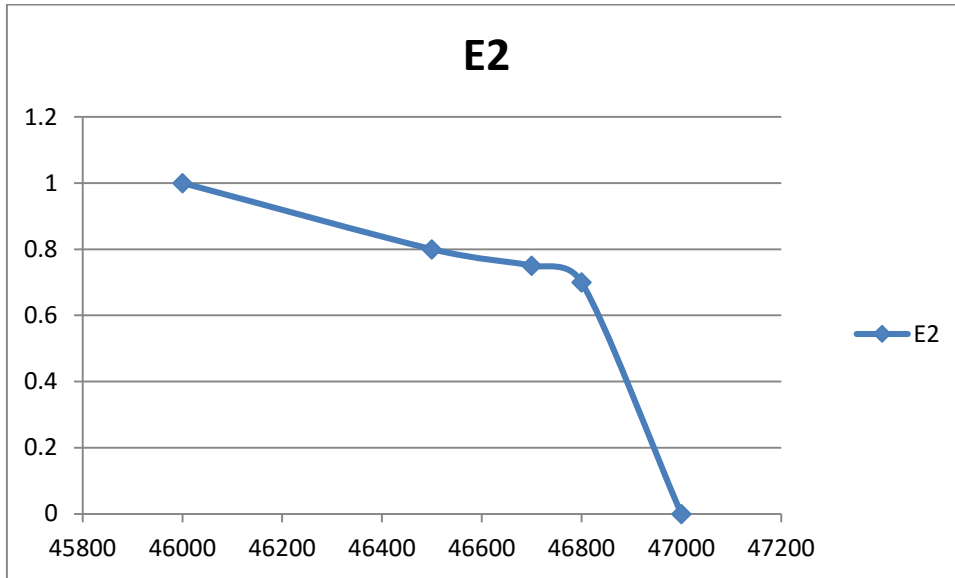
Por lo tanto, $U(46500)= 0.8(1)+0.2(0)= 0.80$

Para $X_i = 46700$ si $P=0.75$

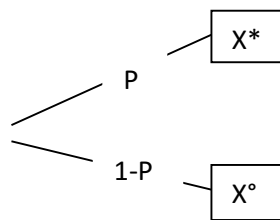
Por lo tanto, $U(46700)= 0.75(1)+0.25(0)= 0.75$

Para $X_i = 46800$ si $P=0.70$

Por lo tanto, $U(46800)= 0.7(1)+0.3(0)= 0.70$



- E3



$$U(44000)=1 \quad U(45500)=0$$

Para $X_i = 44500$ si $P=0.75$

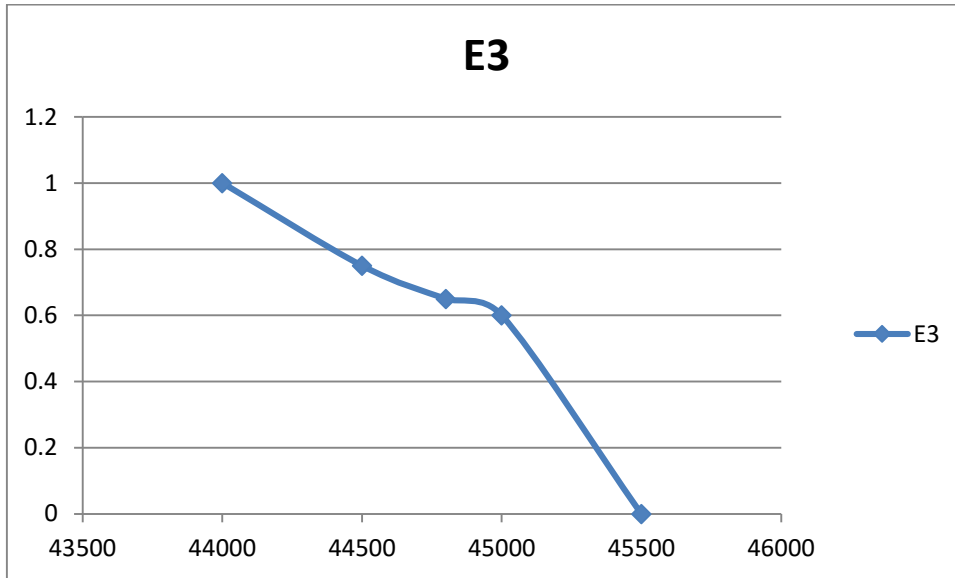
Por lo tanto, $U(44500)= 0.75(1)+0.25(0)= 0.75$

Para $X_i = 44800$ si $P=0.65$

Por lo tanto, $U(44800)= 0.65(1)+0.35(0)= 0.65$

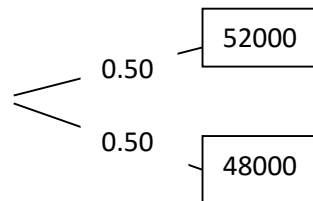
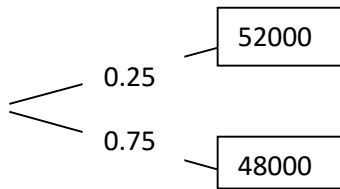
Para $X_i = 45000$ si $P=0.60$

Por lo tanto, $U(45000)= 0.6(1)+0.4(0)= 0.60$

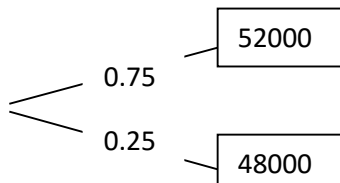


5.2 Método cuestionando equivalentes bajo certeza

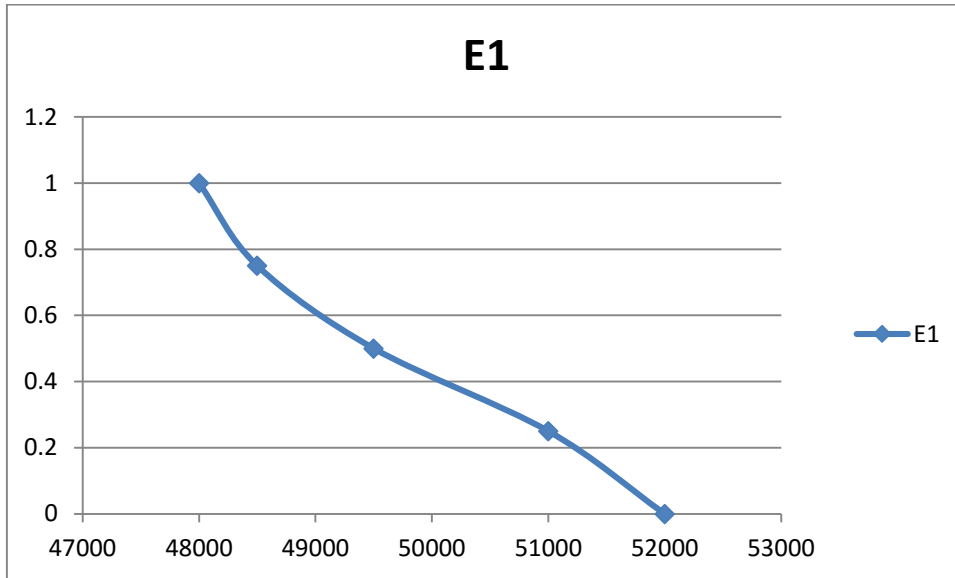
- E1



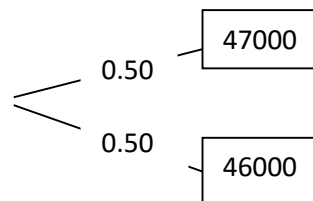
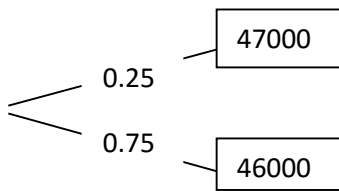
$U(52000)=0$ $u(48000)=1$



$U(X_i)$	P	X_i
0.25	0.25	51000
0.50	0.50	49500
0.75	0.75	48500

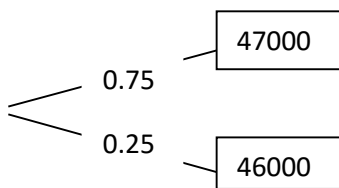


• E2

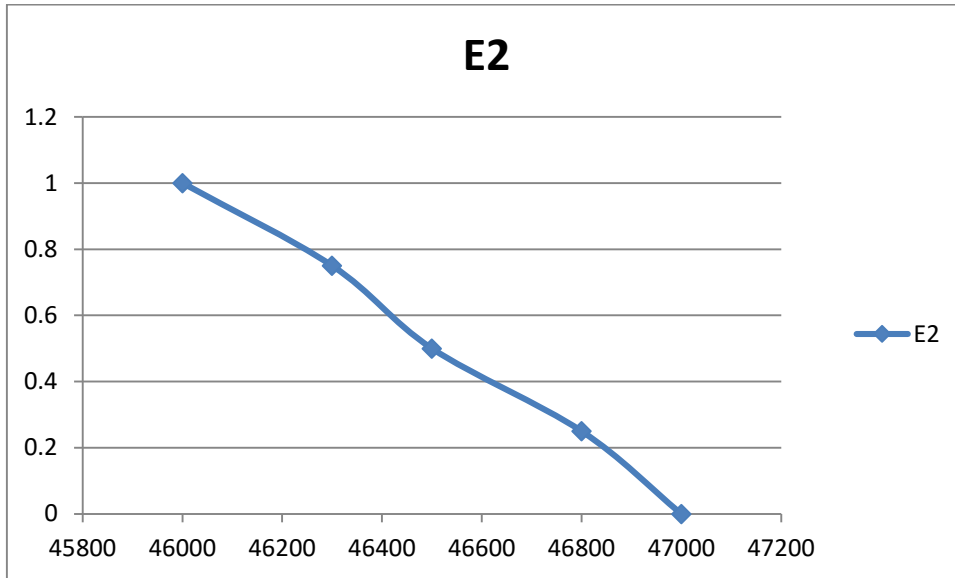


$U(47000)=0$

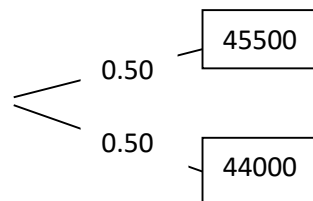
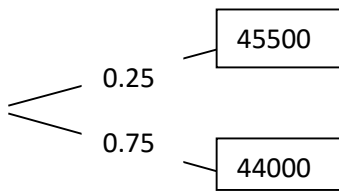
$u(46000)=1$



$U(X_i)$	P	X_i
0.25	0.25	46800
0.50	0.50	46500
0.75	0.75	46300

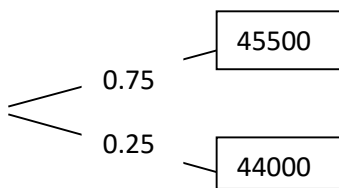


• E3

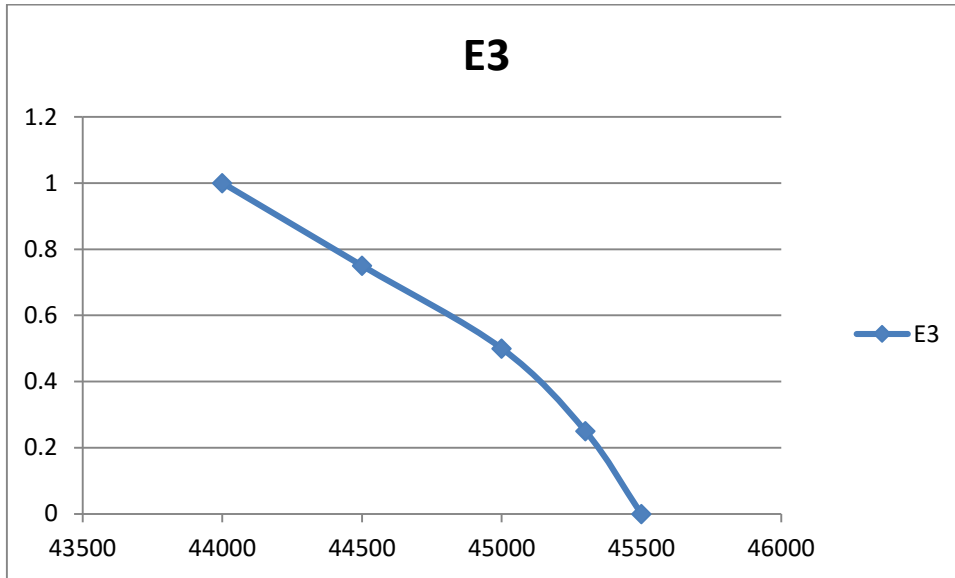


$U(47000)=0$

$u(46000)=1$



$U(X_i)$	P	X_i
0.25	0.25	45300
0.50	0.50	45000
0.75	0.75	44500



6. Multiobjetivos

6.1 Objetivos a considerar:

- ❖ Costos de construcción (millones de dólares)
- ❖ Volumen excavado al día durante la etapa de excavación (m³/día)
- ❖ Área natural afectada por la construcción de la obra (Ha)

Objetivo 1

Empresa	Costos (millones de dólares)
A1= ICA	48000
	47000
	44000
A2= HKND	49000
	46500
	45000
A3= MECO	52000
	45000
	45500

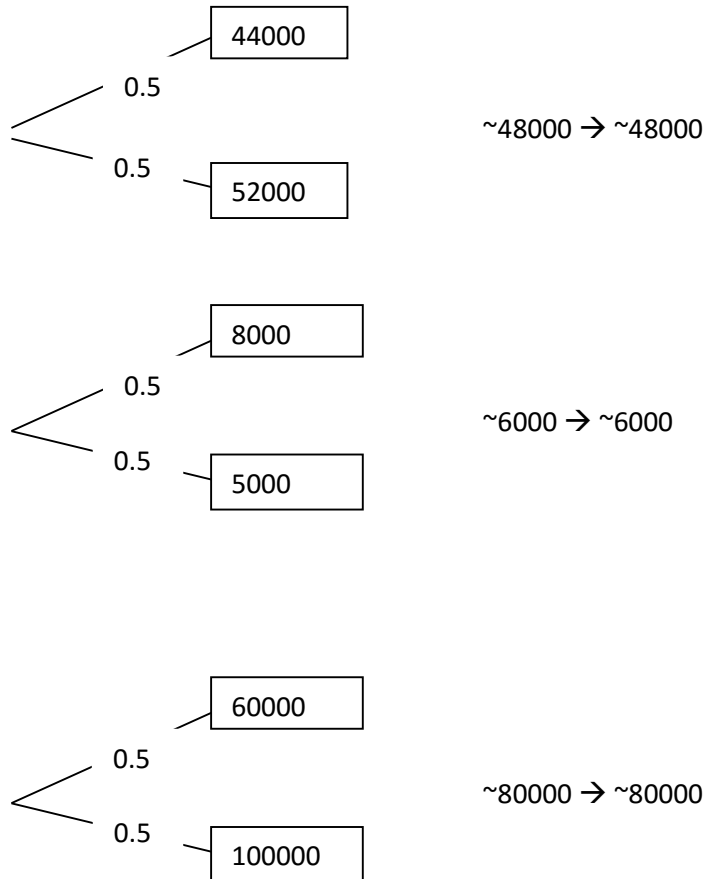
Objetivo 2

Empresa	Volumen excavado (m ³ /día)
A1= ICA	6000
	7000
	6500
A2= HKND	7500
	6000
	5000
A3= MECO	5500
	8000
	6000

Objetivo 3

Empresa	Área afectada (Hectáreas)
A1= ICA	90000
	75000
	60000
A2= HKND	100000
	90000
	80000
A3= MECO	95000
	85000
	70000

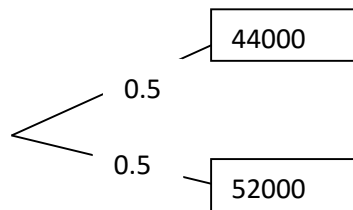
Comprobando la independencia utilitaria entre objetivos:



Dado que los EBC no cambian, existe independencia mutua utilitaria.

Para el caso de la independencia preferencial mutua se asume que los valores que tome un atributo no dependen de los valores que tome el otro, por lo que se afirma que existe independencia preferencial mutua y se puede proceder a obtener una función de utilidad multilineal.

Dado que se cumplió la independencia mutua utilitaria podemos suponer una función del tipo multiplicativo, pero es necesario comprobar que no sea del tipo aditivo:



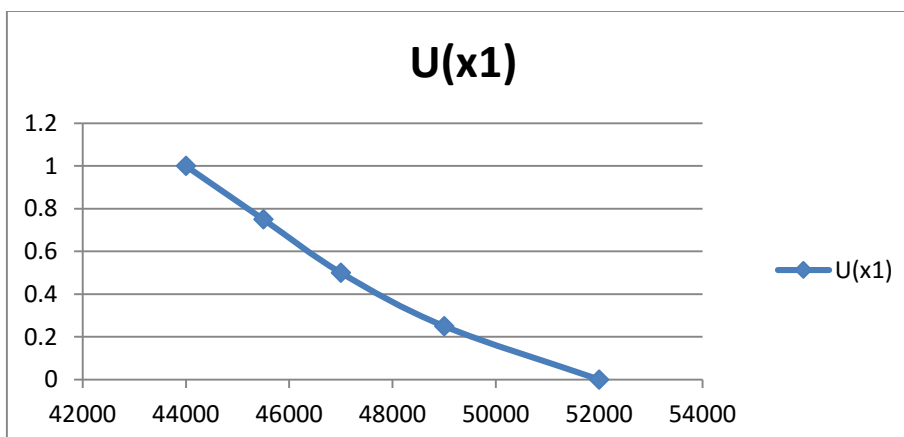
Dado que no me es indiferente obtener el mejor o el peor de los premios de las loterías anteriormente mostradas, no existe independencia aditiva, por lo cual se debe trabajar con una función del tipo multiplicativo y debemos obtener los valores de las k_i y K .

$$U(x_1, x_2, x_3) = [(1 + K * k_1 * u(x_1)) * (1 - K * k_2 * u(x_2)) * (1 + K * k_3 * u(x_3)) - 1] / K$$

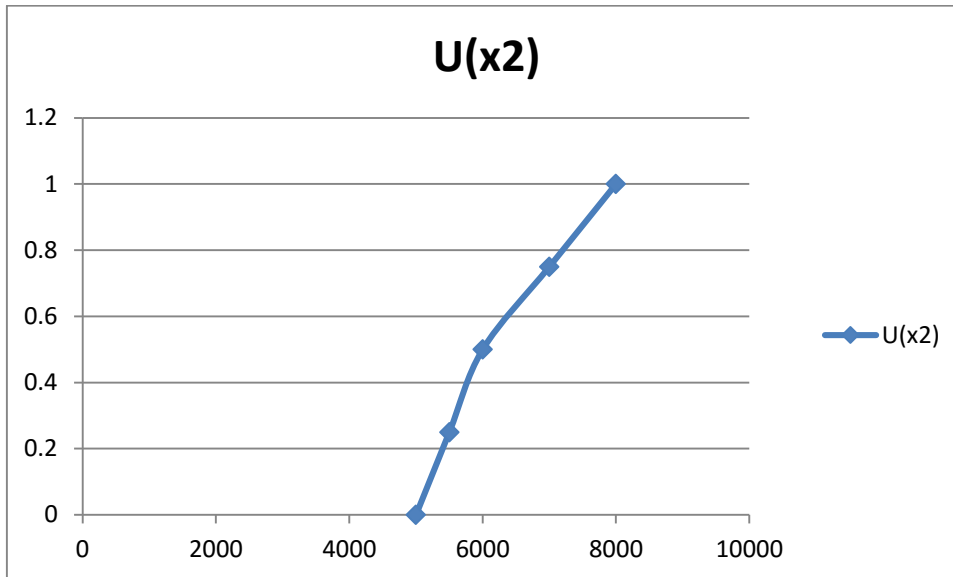
Asumiendo la separabilidad de la función procedemos a calcular los valores de k_i , con los escalamientos usuales para su mejor y peor valor:

$$\begin{aligned} U(X_1^0, X_2^0, X_3^0) &= 0 \\ U(X_1^*, X_2^*, X_3^*) &= 1 \\ U(X_i^*) &= 1 \\ U(X_i^0) &= 0 \end{aligned}$$

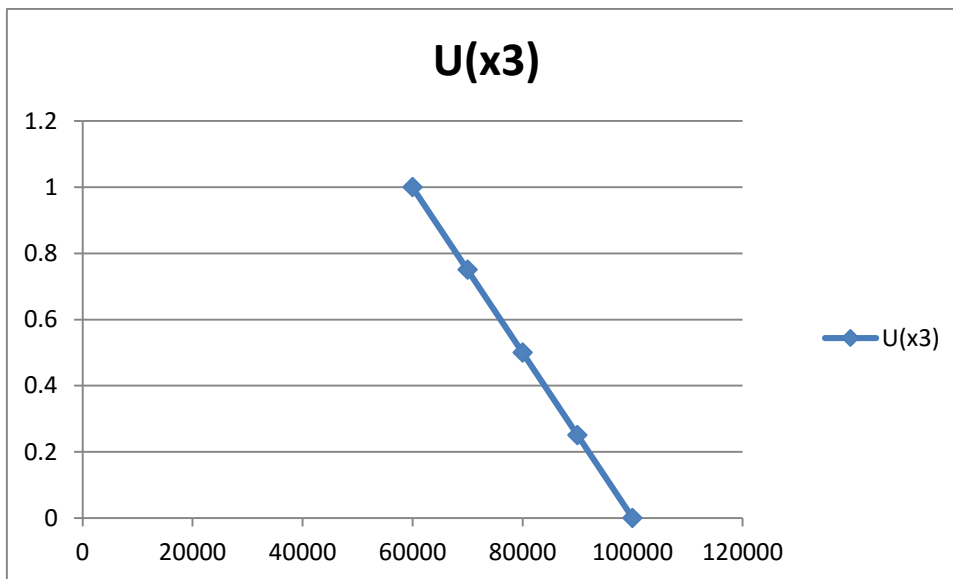
Para el objetivo 1:



Para el objetivo 2:



Para el objetivo 3:



*Funciones de utilidad obtenidas por el método cuestionando equivalentes bajo certeza.

Según el decisor se obtuvieron los siguientes valores de k_i :

$k_1 = 0.5$; $k_2 = 0.25$;

$k_3 = 0.5$



Ahora procedemos a calcular el valor de K:

$$K = (1 + 0.5K) * (1 + 0.25K) * (1 + 0.5K) - 1$$

$$\rightarrow K = -0.536$$

Dado que la suma de las k_i es mayor a 1, el valor de K debe estar entre el -1 y el 0, por lo cual el valor calculado anteriormente es correcto.



Con todo calculado procedemos a utilizar la función multilinear obtenida:

Alternativa 1

$$U(x_1, x_2, x_3) = [(1 - 0.5 * u(4800)) * (1 - 0.25 * u(6000)) * (1 - 0.25 * u(60000)) - 1] / -0.536$$

$$U(x_1, x_2, x_3) = [(1 - 0.5 * 0.35) * (1 - 0.25 * 0.5) * (1 - 0.25 * 1) - 1] / -0.536 = 0.855$$

Alternativa 2

$$U(x_1, x_2, x_3) = [(1 - 0.5 * u(45000)) * (1 - 0.25 * u(7500)) * (1 - 0.25 * u(100000)) - 1] / -0.536$$

$$U(x_1, x_2, x_3) = [(1 - 0.5 * 0.8) * (1 - 0.25 * 0.8) * (1 - 0.25 * 0) - 1] / -0.536 = \underline{0.97}$$

Alternativa 3

$$U(x_1, x_2, x_3) = [(1 - 0.5 * u(52000)) * (1 - 0.25 * u(5500)) * (1 - 0.25 * u(70000)) - 1] / -0.536$$

$$U(x_1, x_2, x_3) = [(1 - 0.5 * 0) * (1 - 0.25 * 0.25) * (1 - 0.25 * 0.75) - 1] / -0.536 = 0.444$$

Por lo que se elige a la alternativa 2 (HKND Group) como empresa constructora del Canal Interoceánico Tehuantepec.

Referencias

Cuaderno de apuntes de la clase del Dr. Juan Antonio del Valle Flores.

<http://www.ingenieria.unam.mx/javica1/ingsistemas2/>

"The Proposed Canal Across the Isthmus of Tehuantepec- The Project Submitted to the Mexican Congress" The New York Times, Feb. 19, 1870