



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA
DE MÉXICO



Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería civil y Geomática
Ingeniera en Sistemas
Proyecto. "Tren México-Querétaro"
Grupo 7

Aguilar Pinelo Bruno
Vázquez Cortés María Fernanda
fernandavz17@gmail.com

Fecha de entrega: 26 de mayo de 2016

Situación con necesidad de toma de decisiones

La autopista México-Querétaro es una de las principales vías de comunicación de la zona centro del país, su capacidad diaria máxima fue en 2012 con 50, 240 vehículos; también se registra gran número de accidentes con 580 accidentes en 2010

Monto total de la inversión

43,579 millones de pesos con IVA

Indicadores de Rentabilidad del PPI

Valor Presente Neto (VPN) \$16,371.6 millones de pesos

Tasa Interna de Retorno (TIR) 14.56%

Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) 10.87%

Objetivo

Mejorar la movilidad entre las ciudades de México y Querétaro, mediante la construcción de un Tren de pasajeros de alta velocidad, que reduzca el tiempo de viaje entre ambas ciudades a una hora.

Alternativas

Tren de 300 km/h:

- Estructura de la caja: Aluminio.
esta vacío,
- Velocidad máxima (km/h): 350 km/h.
- Plazas sentadas por unidad: 404/405.
- Potencia total en llanta: >8.000 kW.
- Frenado: Regenerativo, reostático y neumático.
- Distancia de frenado (320 a 0 km/h): 3.900 m.
- Aceleración (0 a 320 km/h): <400s

Sistemas de señalización: ERTMS niveles 1 y 2, ASFA.

- Longitud total del tren: 200 m.
- Anchura de caja: 2.950 mm.
- Altura: 3.890 mm.

Tren de 250 km/h:

- Ancho de vía : 1.435 mm.
- Tensión : Bitensión 25 kVc.a..
- Potencia : 4.000 kW
- Motores: asíncronos .
- Velocidad máxima : 250 km/h
- Cabinas de conducción : 2.
- Señalización: ASFA, Ertms.
- Plazas totales : 220
- Peso del tren: 250 Tn.
- Longitud total del tren: 107'36 m.
- Anchura de la caja: 2'92 m

Tren de 160 km/h:

- Composición mínima : M-M.
- Composición múltiple : 5 unidades (10 coches).
- Estructura de caja : Aluminio
- Velocidad máxima (Km/h) : 160 km/h.
- Plazas sentadas por unidad de tren : 120
- Motores de tracción diesel : 4.
- Potencia total de tracción : 1.200 kW.
- Potencia por motor : 300 kW.
- Autonomía : 1.000 km.
- Longitud total del tren : 47,748 m.
- Anchura del coche : 2,937 m.
- Altura del coche : 3,888 m.

Presupuesto de materiales móviles en Millones de pesos

Carros de 300 km/h 454

Carros de 250 km/h 275

Carros diesel de 160 km/h 275

Estados de la naturaleza

Cada tipo de tren conlleva un proceso constructivo diferente, por ello es importante analizar qué tanto retraso se tendrá en cada proceso constructivo de acuerdo a los estados del tiempo, y disposición de materiales y maquinaria.

\$Sobrecosto en millones de pesos

	Hay un retraso muy grande (16-24 meses) P=0.26	Hay un retraso aceptable (1-8 meses) P=0.32	Hay un retraso considerable (9-15 meses) P=0.42
Carro de 300 km/h	679	208	427
Carro de 250 km/h	654	217	439
Carro de 160km/h	640	221	412

Para el proyecto del tren México-Querétaro se tienen tres distintos trenes, con diferentes velocidades y cada uno cuenta con una capacidad.

1. Solo considerando el clima, se puede prever un atraso de 4 meses.
2. Lo más probable es que la obra se atrase un año por las condiciones del clima, atrasos tiempos de entrega e los insumos.
3. Considerando clima atrasos en tiempos de entrega, manifestaciones públicas, entre otros factores, se tendría un retraso muy grande, pero esto sólo en el peor escenario.

Conclusiones

Es importante considerar las probabilidades de que se presente cada estado de la naturaleza, y se debe contemplar cómo van a afectar el proyecto en cada una de las alternativas que se proponen.

No tiene todos los aspectos y falta dominancia.

DECISIONES BAJO CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE

Matriz de decisiones



	E1	E2	E3
A1	679	208	427
A2	654	217	439
A3	640	221	412

- **Criterio maximin.**

	E1	E2	E3
A1	679	208	427
A2	654	217	439
A3	640	221	412

Los valores mínimos se señalan con rojo, siendo el maximo de estos 640 que apunta a la alternativa 3.

- **Criterio máximax**

	E1	E2	E3
A1	679	208	427
A2	654	217	439
A3	640	221	412

Los mejores valores se marcan con rojo y de estos el mejor, 679, apunta hacia la alternativa 1.

- **Criterio de Hurwicz**

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

	E1	E2	E3
A1	679	208	427
A2	654	217	439
A3	640	221	412

Sea $\beta = 0.80$ entonces:

$$V(A_1) = 0.80 (679) + 0.20(208) = 584.8$$

$$V(A_2) = 0.80(654) + 0.20(217) = 566.6$$

$$V(A_3) = 0.80(640) + 0.20(221) = 556.2$$

Con este criterio la alternativa a elegir es la 1.

- **Criterio de Laplace:**

Siendo el número de Estados de la naturaleza 3, las probabilidades de cada uno son 0.33...33, por lo que su valor esperado de cada alternativa se muestra enseguida:

$$VE(A_1) = 0.33 (679) + 0.33(208) + 0.33(427) = 394.2$$

$$VE(A_2) = 0.33(654) + 0.33(217) + 0.33(439) = 393$$

$$VE(A_3) = 0.33(640) + 0.33(221) + 0.33(412) = 381.9$$

La alternativa 1 sería la elegida con este criterio.

- **Criterio de Arrepentimiento de Savage:**

Si siguiendo los pasos indicados, la matriz de arrepentimiento se empezaría a formar eligiendo los mejores valores de cada estado de la naturaleza, quedando la matriz como la siguiente:

	E1	E2	E3
A1	679	208	427
A2	654	217	439
A3	640	221	412

Estos mejores valores serán disminuidos por cada valor del elemento, la matriz se vería así:

	E1	E2	E3
A1	640-679	0	412-427
A2	640-654	208-217	412-439
A3	0	208-221	0

Finalmente la matriz de arrepentimiento sería la siguiente

	E1	E2	E3
A1	-39	0	-15
A2	-14	-19	-27
A3	0	-13	0

El vector de arrepentimientos máximos es $[-39, -27, -13]^T$, siendo el valor mínimo aquel que apunta a la alternativa 3, la cual resulta seleccionada como la mejor.

DECISIONES BAJO CONDICIONES DE RIESGO

- **Maximización o minimización del valor esperado y varianza.**

	P(E1)=0.26	P(E2)=0.32	P(E3)=0.42
A1	679	208	427
A2	654	217	439
A3	640	221	412

$$E(A1)=679(0.26)+208(0.32)+427(0.42)= 422.44$$

$$E(A2)=654(0.26)+217(0.32)+439(0.42)=423.86$$

$$E(A3)=640(0.26)+221(0.32)+412(0.42)=649.12$$

Se elige la alternativa A1 por tener un menor valor esperado, debido a que son pérdidas.



- **Principio del más probable futuro.**

Al ser **E3** el más probable, tendríamos un problema bajo certeza, con la siguiente matriz

	P(E3)=0.42
A1	427
A2	439
A3	412



- **Principio del nivel esperado.**



Para A1

$$P(\text{pérdida} < 600) = (208)(0.32) + (427)(0.42) = 245.9$$

Para A2

$$P(\text{pérdida} < 600) = (217)(0.32) + (439)(0.42) = 253.82$$

Para A3

$$P(\text{pérdida} < 600) = (221)(0.32) + (412)(0.42) = 243.76$$

- **Varianza**

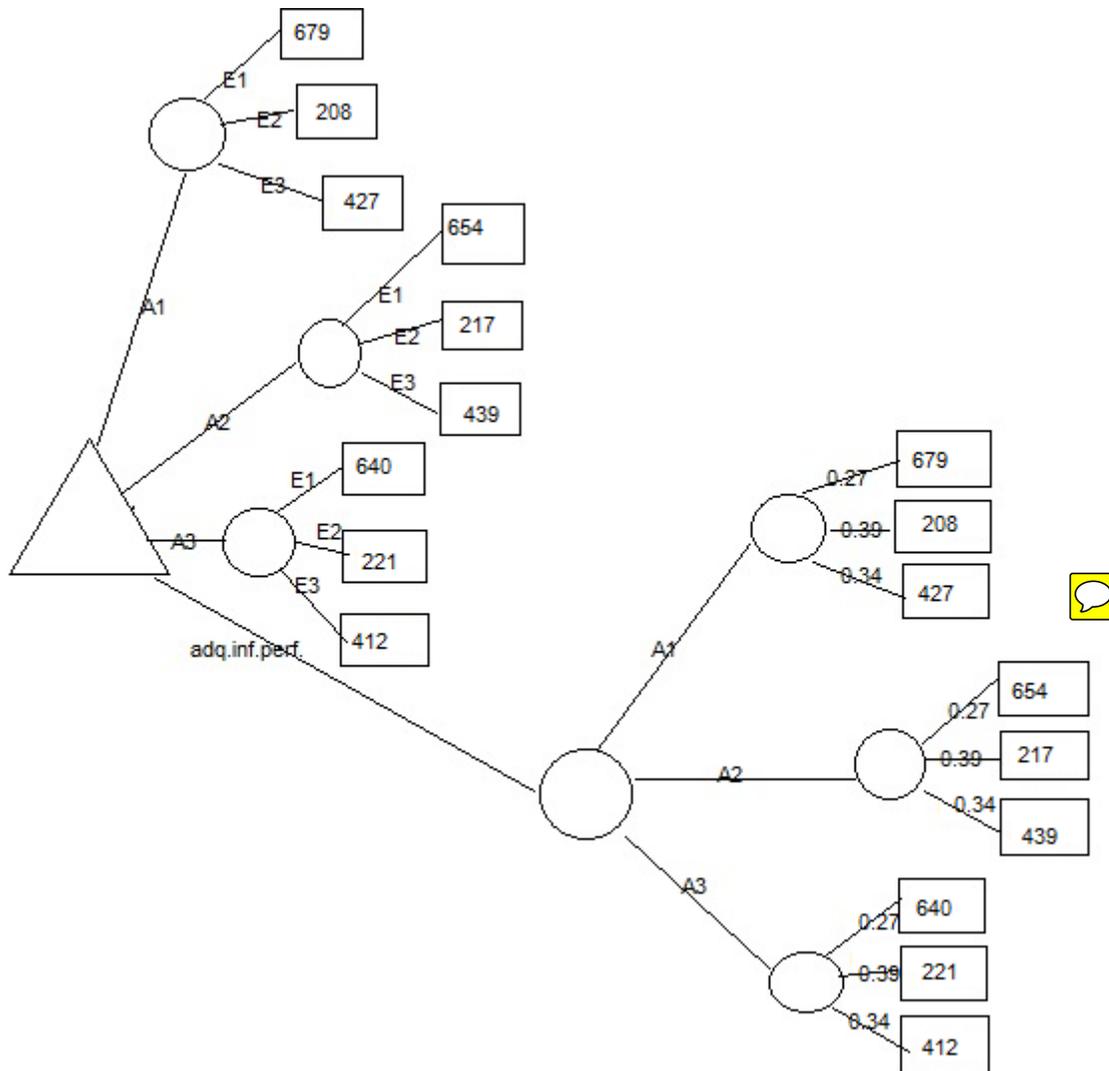


$$\text{Media} = \frac{679 + 208 + 427 + 654 + 217 + 439 + 640 + 221 + 412}{9} = 433$$

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{(679 - 433)^2 + (208 - 433)^2 + (427 - 433)^2 + (654 - 433)^2 + (217 - 433)^2 + (439 - 433)^2 + (640 - 433)^2 + (221 - 433)^2 + (412 - 433)^2}{9} \\ &= 181.03 \end{aligned}$$

VALOR DE LA INFORMACIÓN EN LAS DECISIONES

Información perfecta



Valor esperado sin comprar información

$$E(A1)=679(0.26)+208(0.32)+427(0.42)= 422.44$$

$$E(A2)=654(0.26)+217(0.32)+439(0.42)=423.86$$

$$E(A3)=640(0.26)+221(0.32)+412(0.42)=649.12$$

Valor esperado comprar información

$$E(A1)=409.63$$

$$E(A2)=410.47$$

$$E(A3)=399.07$$

$$VE(IPA1)=422.44-409.63=12.81$$

$$VE(IPA2)=423.86-410.47=13.39$$

$$VE(IPA3)=649.12-399.07=250.05$$

$$VE(IP)=12.81+13.39+250.05=276.25$$

Lo más que se podrá pagar por adquirir información será 276.25 millones de pesos.

Se compra  información a una empresa dedicada a los pronósticos a cerca de la probabilidad de que la lluvia y los tiempos de entrega de insumos afecten.

	P(E1)=0.26	P(E2)=0.32	P(E3)=0.42
A1	679	208	427
A2	654	217	439
A3	640	221	412

S1: La información dice que habrá un atraso de 18 meses	2
S2: La información dice que habrá un retraso de 7 meses	1.8
S3: La información dice que habrá un retraso de 12 meses	1.5

$$P(S1) = P(S1/E1) P(E1) + P(S1/E2) P(E2) + P(S1/E3)P(E3) = (0.64)(0.26) + (0.12)(0.32) + (0.10)(0.42) = 0.2468$$

$$P(S2) = P(S2/E1)P(E1) + P(S2/E2) P(E2) + P(S2/E3)P(E3) = (0.25)(0.26) + (0.72)(0.32) + (0.15)(0.42) = 0.8654$$

$$P(S3) = P(S3/E1)P(E1) + P(S3/E2) P(E2) + P(S3/E3)P(E3) = (0.11)(0.26) + (0.16)(0.32) + (0.75)(0.42) = 0.3948$$

$$P(E1/S1) = [P(S1/E1) P(E1)] / P(S1) = 0.6742$$

$$P(E2/S1) = 0.1556$$

$$P(E3/S1) = 0.1702$$

$$P(E1/S2)=0.0751$$

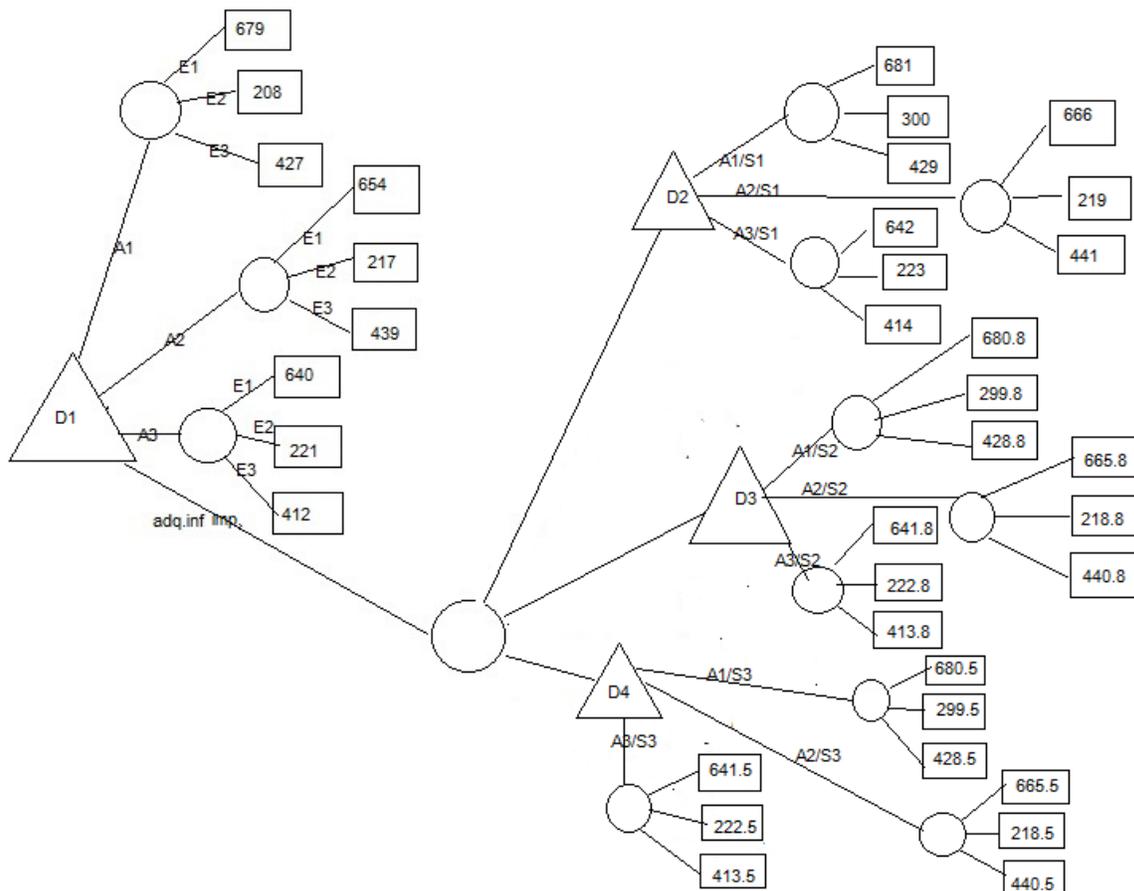
$$P(E2/S2)=0.2662$$

$$P(E3/S2)=0.0728$$

$$P(E1/S3)=0.0724$$

$$P(E2/S3)=0.1297$$

$$P(E3/S3)=0.7979$$



Para D1:

$$VE(A1)=679(0.26)+208(0.32)+427(0.42)= 422.44$$

$$VE(A2)=654(0.26)+217(0.32)+439(0.42)=423.86$$

$$VE(A3)=640(0.26)+221(0.32)+412(0.42)=649.12$$

Para D2:

$$VE(A1)=(0.6742)(681)+(0.1556)(210)+(0.1702)(429)=564.82$$

$$VE(A2)=139.67$$

$$VE(A3)=405.73$$

Para D3

$$VE(A1)=564.62$$

$$VE(A2)=139.59$$

$$VE(A3)=405.53$$

Para D3

$$VE(A1)=564.32$$

$$VE(A2)=139.46$$

$$VE(A3)=405.23$$

Obteniendo el valor esperado del nodo D1:

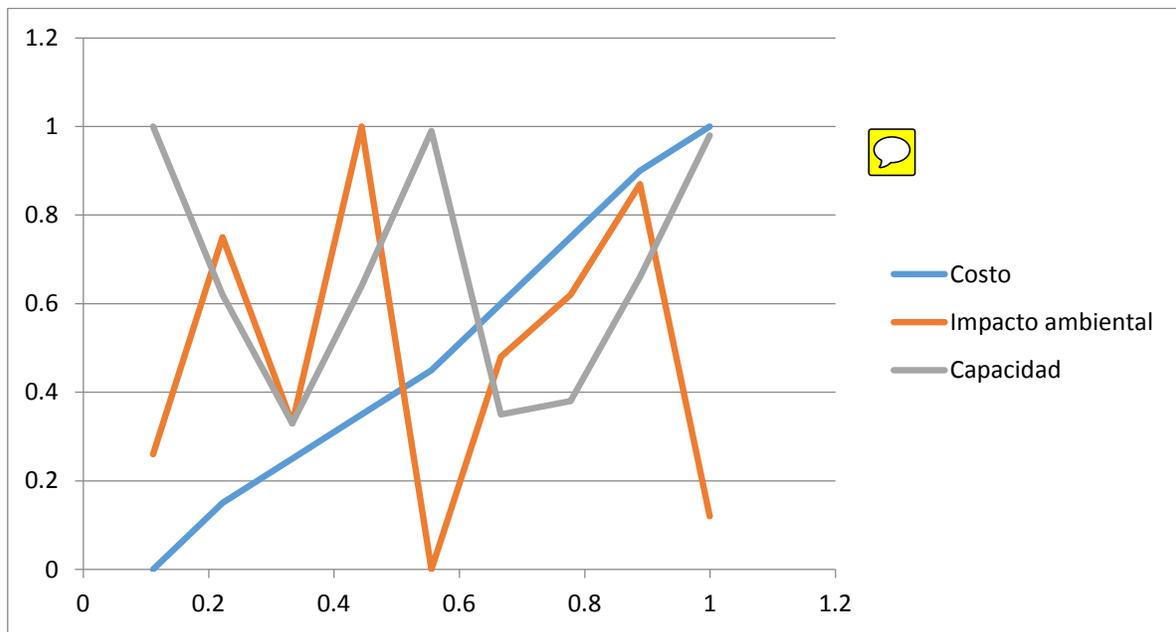
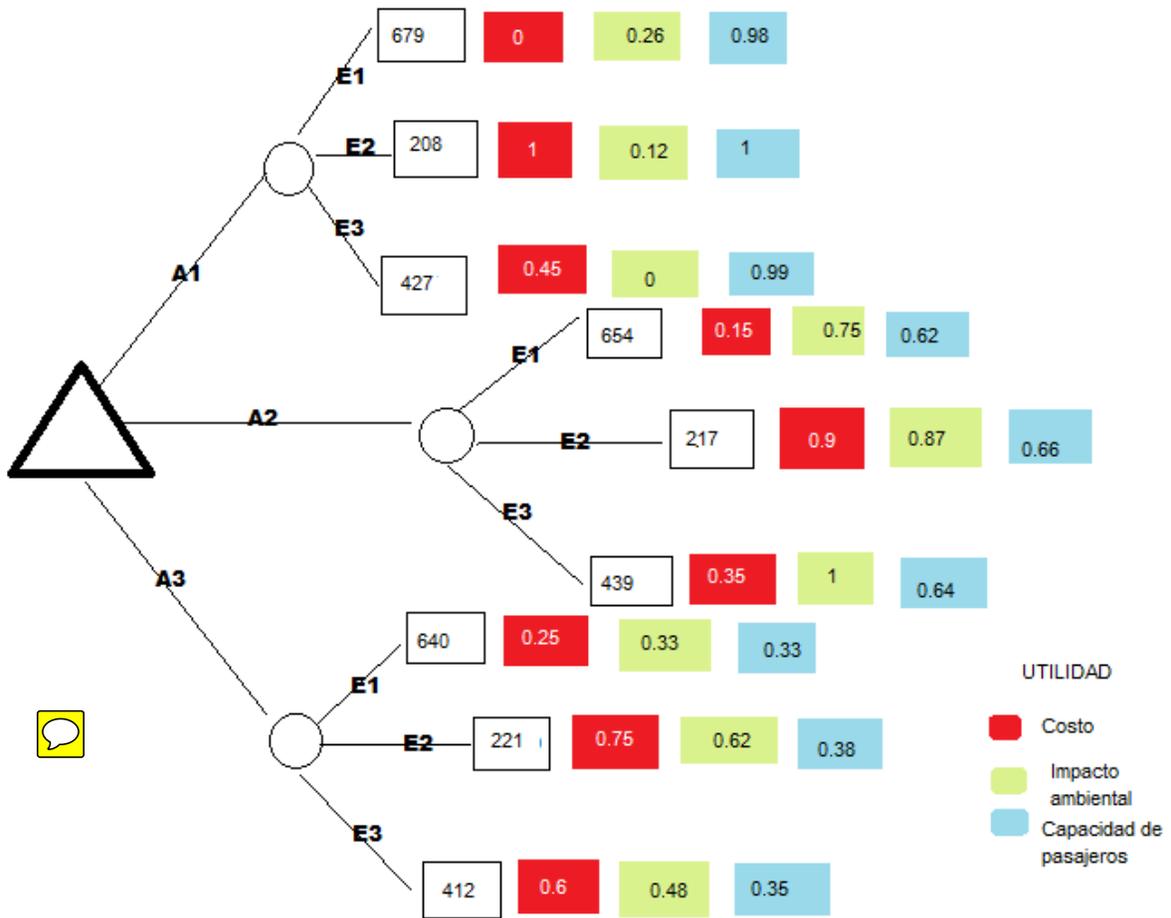
$$VE(\text{con información})=(139.67)(0.2468)+(139.59)(0.8654)+(139.46)(0.3948)=210.33$$

$$VE(\text{sin información})=422.44$$

Por lo tanto se elige comprar la información.



EL ENFOQUE DE LA UTILIDAD EN LAS DECISIONES



El conjunto de resultados posibles en orden de preferencia es:

$$X = \{ 679, 654, 640, 427, 439, 412, 221, 217, 208 \}$$

El mejor resultado es $X^* = 208$. El peor resultado es $X^0 = 679$.

$$u(221) = 0.25x^* + 0.75x^0 = 0.25$$

$$u(412) = 0.50x^* + 0.50x^0 = 0.50$$

$$u(640) = 0.75x^* + 0.25x^0 = 0.75$$

Con estos tres puntos y los dos supuestos ($X^*=1$ y $x^0=0$) se tienen cinco puntos, cantidad mínima acostumbrada para trazar la curva.

MULTIOBJETIVOS.

X1 Costo

X2 Impacto ambiental

X3 Capacidad de los trenes

Los objetivos se enlistaron de acuerdo a su preferencia en orden descendente.

X1 es independiente utilitariamente de x2 y x3.

X2 es independiente utilitariamente de x1 y x3.

X3 es independiente utilitariamente de x1 y x2.

X1 es independiente preferencialmente de x2 y x3.

$$U(X_1, X_2, X_3) = p_1^3 [1 + K k_i U_i(X_i)] - 1 / K$$

$$U(X_1^0, X_2^0, X_3^0) = 0$$

$$U(X_1^*, X_2^*, X_3^*) = 1$$

$$U(X_i^*) = 1$$

$$U(X_i^0) = 0$$

$$p_i = k_i$$

$$U(X_1^*, X_2^*, X_3^*) = \Sigma [1 + K k_i U_i(X_i)] - 1 / K$$

$$k_1 = 0.4 ; k_2 = 0.3 ; k_3 = 0.2$$



$$U(X_1^*, X_2^*, X_3^*) = S [1 + K k_i U_i(X_i)] - 1 / K$$

$$K = (1+0.4K) (1+0.3K) (1+0.2K) - 1$$

$$K=0.3729$$

$$U(X_1, X_2, X_3) = [1+0.55U_1(X_1)][1+0.3U_2(X_2)][1+0.15U_3(X_3)] - 1 / 0.3729$$

Alternativa	X1 \$ (millones de pesos)	X2 (bajo, medio, alto)	X3 (personas)
160 km/h	$u(255) = 1$	$u(1) = 0$	$U(405) = 1$
250 km/h	$u(330) = 0.6$	$u(0) = 1$	$u(220) = 0.55$
300 km/h	$u(402) = 0$	$u(0.5) = 0.5$	$u(120) = 0$

Alternativa 1.

$$(0.3729)U(X_1, X_2, X_3) = [1+0.55U_1(98)][1+0.30U_2(0)][1+0.15U_3(405)]$$

$$(0.3729) U(X_1, X_2, X_3, X_4) = [1+0.55(1)][1+0.3(0)][1+0.15(1)] = 1.55 + 1 + 1.15 = 3.7$$

$$U(X_1, X_2, X_3) = 3.7/0.3729 = 9.92$$

Alternativa 2.

$$(0.3729) U(X_1, X_2, X_3) = [1+0.55U_1(330)][1+0.3U_2(1)][1+0.15U_3(220)]$$

$$(0.3729) U(X_1, X_2, X_3) = [1+0.55(0.6)][1+0.3(1)][1+0.15(0.55)] = 1.33+1.3+1.0825= 3.7125$$

$$U(X_1, X_2, X_3, X_4) = 3.7125/0.3729 = 9.956$$

Alternativa 3.

$$(0.3729) U(X_1, X_2, X_3) = [1+0.55U_1(402)][1+0.3U_2(0.5)][1+0.15U_3(120)]$$

$$(0.3729) U(X_1, X_2, X_3) = [1+0.55(0)][1+0.3(0.5)][1+0.15(0)] = 1.15$$

$$U(X_1, X_2, X_3, X_4) = 1.15/0.3729 = 0.4023$$

La mejor alternativa es la 2, tren de 250 [km/h]

- **Conclusión**

El tren de 250 [km/h], tras un análisis que involucró tomas decisiones bajo condiciones de incertidumbre decisiones bajo condiciones de riesgo, y el enfoque de la utilidad en las decisiones. Resulto ser la mejor alternativa en un problema de toma de decisiones en las que encontrábamos al menos tres opciones a elegir.