



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería
División de Ingenierías Civil y Geomática



Ingeniería de Sistemas
Prof.: Dr. Juan Antonio del Valle Flores

Jurado Mancilla Juan Daniel
Alejando Naum Contreras Paulino

Grupo: 3

Proyecto

“Toma de decisiones.”

Fecha de entrega: 23/05/16

Índice

Objetivo.....	3
Descripción de la problemática.....	3
Criterios de toma de decisión:	
Decisiones en Condiciones de Incertidumbre.....	7
Decisiones en Condiciones de Riesgo.....	9
Valor de la Información en las decisiones.....	10
Enfoque de Utilidad en las decisiones.....	16
Multiobjetivos:	
Planteamiento de objetivos a cumplir.....	21
Conclusión	27

Objetivo

Analizar la problemática que tiene una ciudad con su sistema de transporte para poder solucionarla y seleccionar la mejor alternativa.

Descripción de la problemática

Problemas de Movilidad en la Ciudad de México

La ciudad de México inició un saludable debate, como pocas veces había ocurrido en la ciudad, sobre las causas de fondo que hacen tan difícil realizar los viajes diarios de trabajadores, comerciantes, estudiantes y amas de casa en la segunda mancha urbana del mundo; y las soluciones a los problemas cotidianos del congestionamiento que diariamente vive la ciudad.

En este intercambio entre autoridades locales, federales, diputados y partidos políticos; y donde también participaron las organizaciones empresariales, organizaciones civiles, agrupaciones de profesionistas y colegios de académicos; se precisaron dos grandes temas de la agenda pública relacionada con el transporte y la vialidad.

La movilidad se refiere tanto a la demanda de viajes que requiere una población creciente y con empleos, viviendas y accesos a educación, cultura y comercio, cada vez más distanciados entre sí, y por otro lado, a la oferta de infraestructura vial de avenidas y calles, con sus intersecciones, así como a los diversos servicios que se utilizan para realizar los viajes, desde el auto particular, el transporte público de mediana y gran capacidad, como los autobuses y el metro, y una creciente dotación de transporte concesionado como los taxis y los microbuses. Los llamados modos de transporte.

Los problemas en la movilidad que son generadores de molestias cotidianas y masivas, son un síntoma de un malestar más profundo: el modo desordenado en que ha crecido nuestra ciudad y la metrópoli, con graves riesgos para la sustentabilidad de la vida de la Zona Metropolitana del Valle de México. Por eso el centro del debate no sólo se refiere a evaluar la eficacia de las medidas para aumentar la velocidad en la movilidad, sino a sus efectos para corregir o aumentar los desequilibrios del crecimiento urbano tales como la contingencia entre otros.

*En este proyecto los criterios de decisión para determinar la mejor alternativa girarán en torno al número de personas movilizadas, el tiempo de recuperación de la inversión y las emisiones e impacto de cualquier tipo al medio ambiente.

Decisor:

Como decisor se ha nombrado a un grupo específico de la SCT

Alternativas a elegir

Como medidas para mitigar y combatir la saturación de la ciudad por diversos tipos de vehículos el gobierno estudia distintos cursos de acción, entre ellos destacan 3:

-La construcción de una nueva línea de metro

-La ampliación de la red de metro

bús(2 líneas)

-La ampliación de rutas y creación de proyectos en apoyo a las rutas de camiones existentes

El metro como un transporte masivo da servicio a 685 millones de pasajeros anualmente pero la construcción de una nueva línea de metro solamente incrementaría su capacidad en cifras estimadas alrededor de 6%, sin embargo diariamente podría movilizar a 262 000 personas mas (en su mejor escenario). Esta alternativa supone un costo de 21 000 millones de pesos

Metrobús es un sistema de transporte, basado en autobuses, la creación de estas nuevas líneas (línea 4 y 5) podría dar servicio a 135 000 pasajeros al día(en su mejor escenario), la inversión de este proyecto se verá beneficiada o afectada por particulares de forma mayoritaria dando un costo para esta alternativa de 700 millones de pesos por parte del gobierno federal (los particulares aportan el 75% del capital).

La creación de programas y creación de nuevas rutas de camiones convencionales aumentaría la movilidad en un estimado de 180 000 personas diariamente (en su mejor escenario), sin embargo la problemática de fugas en el presupuesto es un problema latente. Este transporte característico de la ciudad funciona por medio de redes de camiones chicos con una capacidad de 24 personas (sentadas) aproximadamente. Circulan prácticamente por todas las calles medianas y grandes de la ciudad y tienen la ventaja de realizar paradas continuas a voluntad del usuario y tendría un costo de 12 000 millones de pesos.

Definición del Proyecto

1.- DESCRIBA LA SITUACION REAL POR USTED SELECCIONADA CON NECESIDAD DE TOMA DE DECISIONES EN CONDICIONES DE RIESGO/INCERTIDUMBRE.

- En una ciudad muy importante de México el aumento de la población ha causado el desarrollo industrial a gran escala esta situación ha creado que muchas personas tenga la necesidad de transportarse de un lugar a otro, esto ha hecho que el sistema de transporte público sea insuficiente.

2. INDIQUE QUE INSTITUCION O PERSONA DESEMPEÑA EL PAPEL DE DECISOR.

La secretaria de comunicación y transportes (SCT) ha decidido encargarle a Alumnos de la Facultad de Ingeniería que propongan una solución a este problema.



Debido a la contaminación que ha surgido en esa ciudad, la SCT les pide a los alumnos que tomen en cuenta entre otros factores importantes el del impacto ambiental.

3. DESCRIBA A CADA UNA DE LAS ALTERNATIVAS

Después de una ardua investigación relacionada con los sistemas de transporte que pueden contribuir a la solución, los alumnos propusieron tres diferentes alternativas que se presentan a continuación:

- A1 – Aumentar el número de rutas y autobuses
- A2 – Realizar ampliaciones al metro de la ciudad.
- A3 – Realizar más metro bus

4. DESCRIBA A CADA ESTADO DE LA NATURALEZA

Para identificar los estados de la naturaleza propusimos mediante datos estadísticos cual es el transporte que las personas toman con frecuencia así obteniendo que para:

- E1 El estado de la naturaleza 1 es el que las personas usan con Mayor frecuencia (0.5)
- E2 El estado de la naturaleza 1 es el que las personas usan con Media frecuencia (0.3)
- E2 El estado de la naturaleza 1 es el que las personas usan con Menor frecuencia (0.2)

5. PARA CADA UNO DE LOS ESTADOS DE LA NATURALEZA, JUSTIFIQUE LA ASIGNACIÓN DE SU PROBABILIDAD DE OCURRENCIA.

En condiciones normales el INEGI realizo mediante encuestas un estudio para analizar el uso de la frecuencia en los sistemas de transporte público de ahí obtuvo la relación entre el número total de personas que hay en la ciudad y el número de personas que usan el transporte público con mas, media y baja frecuencia

Los datos que salieron de las encuestas realizadas son los siguientes:

Personas encuestadas = 1 000 000

Para los diferentes estados de la naturaleza:

- E1 de un 1 000 000 de personas encuestadas 600 000 utilizan el transporte público con mayor frecuencia esto nos dice que más de la mitad de la población utiliza el transporte público por lo tanto $E1=600000/1000000 =0.6$
- E2 en el estado de la naturaleza 2 que es el de media frecuencia resultado que las personas que usan el transporte público con media frecuencia es decir que utilizan el transporte público para realizar actividades con un menor índice de incidencia fue de 400 000 por lo tanto $E2=400000/1000000 =0.4$
- E3 este estado corresponde a las personas que ocasionalmente utilizan el sistema de transporte público obteniendo como resultado de la encuesta para un uso bajo de 100 000 por lo tanto $E3 = 100000/1 000 000 = 0.1$

6. IDENTIFICA Y CALCULA EL VALOR DEL RESULTADO DE CADA DE LAS DECISIONES (EN TERMINOS MONETARIOS). ETIQUETAR A CADA UNO COMO LOS ELEMENTOS A_{ij} DE LA MATRIZ DE DECISIONES.

Para calcular el valor de los resultados de cada caso con su respectivo estado de la naturaleza se requirió consultar fuentes externas de los costos que han tenido anteriormente proporcionar estos servicios los resultados fueron:

Tomando en cuenta la inversión que se requiere para la infraestructura, los sistemas de control, las carreteras, los vehículos y las terminales para cada alternativa teniendo en cuenta su estado de la naturaleza la ganancia que se obtendría para cada caso sería (en mdp):

	E1(0.5)	E2(0.3)	E3(0.1)
A1 (Rutas y Autobuses)	900	600	300
A2 (Ampliación del	2300	400	150

metro)			
A3 (Metro-bus)	1500	500	200



Criterios de toma de decisión:

Decisiones en Condiciones de Incertidumbre

En esta parte analizaremos nuestras alternativas con el criterio de Decisión en Condiciones de Incertidumbre

- Utilizando el Principio Maximin
Nos enfocamos a identificar el peor resultado de cada alternativa y de estos peores valores elegimos el mejor.

	E1(0.5)	E2(0.3)	E3(0.1)
A1 (Rutas y Autobuses)	900	600	300
A2 (Ampliación del metro)	2300	400	150
A3 (Metro-bus)	1500	500	200

De estos tres valores elegimos el mejor como el valor esta relacionado a las ganancias de las peores ganancias la mejor sería la más alta que es el valor de 300

$$\text{MAX} [\text{Min } A] = 300$$

Con este principio se seleccionaría la A1

- Con el principio de Maximax que se enfoca a seleccionar la alternativa que ofrece la oportunidad de obtener el mejor resultado


	E1(0.5)	E2(0.3)	E3(0.1)
A1 (Rutas y Autobuses)	900	600	300
A2 (Ampliación del metro)	2300	400	150
A3 (Metro-bus)	1500	500	200

$$\text{MAX [Max A]} = 2300$$

Por lo tanto la Alternativa que se seleccionara seria A2

- Utilizando el Principio de Hurwics
Este criterio distingue los resultados Máximos y Mínimos posibles de cada alternativa en donde utilizaremos el índice de optimismo relativo $\beta=0.65$

	E1(0.5)	E2(0.3)	E3(0.1)
A1 (Rutas y Autobuses)	900	600	300
A2 (Ampliación del metro)	2300	400	150
A3 (Metro-bus)	1500	500	200

Utilizando el índice de optimismo 

	E1(0.5)	E2(0.3)	E3(0.1)
A1 (Rutas y Autobuses)	$900 \cdot 0.65 = 585$	600	$300(1-0.65) = 105$
A2 (Ampliación del metro)	$2300 \cdot 0.65 = 1495$	400	$150(1-0.65) = 52.5$
A3 (Metro-bus)	$1500 \cdot 0.65 = 975$	500	$200 \cdot (1-0.65) = 70$

$$\text{Para V (A1)} = 585 + 105 = 690$$

$$\text{Para V (A2)} = 1495 + 52.5 = 1547.5$$

$$\text{Para V (A3)} = 975 + 70 = 1040$$

Por lo tanto la A2 sería la seleccionada

- Utilizando el criterio de Laplace.
Siendo el número de Estados de la naturaleza 3, las probabilidades de cada uno son $1/3$ y su valor esperado de cada una es:
 $VE(A1) = (1/3)(900) + 1/3(600) + 1/3(300) = 600$
 $VE(A2) = (1/3)(2300) + 1/3(400) + 1/3(150) = 950$
 $VE(A3) = (1/3)(1500) + 1/3(500) + 1/3(200) = 733$

La alternativa 2 sería la elegida con este criterio



Decisiones en Condiciones de Riesgo

Criterio Maximización o minimización del valor esperado y varianza.

Para poder seleccionar la mejor alternativa en este tema nos basaremos en algunos de los criterios que se presentan a continuación.

De manera análoga para poder emplear este criterio de toma de decisión es indispensable obtener el valor esperado y se obtiene de la siguiente manera:

Sea X una variable aleatoria discreta definida para un número finito de valores y $P(x)$ la probabilidad de ocurrencia de un valor particular, entonces el valor esperado se define como:

$$E(X) = \sum x_i P(x_i)$$

	E1(0.5)	E2(0.3)	E3(0.1)
A1 (Rutas y Autobuses)	900	600	300
A2 (Ampliación del metro)	2300	400	150
A3 (Metro-bus)	1500	500	200

De tal forma que el valor esperado de cada alternativa es el siguiente:

$$E(A1) = 900(0.5) + 600(0.3) + 300(0.1) = 660$$

$$E(A2) = 2300(0.5) + 400(0.3) + 150(0.1) = 1285$$

$$E(A3) = 1500(0.5) + 500(0.3) + 200(0.1) = 920$$

El criterio nos indica que dependiendo de los valores que tengamos en la matriz se escoge según el caso si estamos hablando de ingresos o ganancias el más alto y si hablamos de egresos o pérdidas el más bajo. En nuestra matriz consideramos las ganancias por lo tanto nuestra selección será el valor más alto de los valores esperados de cada alternativa

Por tener el valor esperado más alto se selecciona la **ALTERNATIVA 2**.



Criterio Principio del más probable futuro

Ahora analizaremos el problema afrontando en la toma de decisión bajo riesgo donde un estado de la naturaleza tiene una probabilidad de ocurrencia mucho mayor a los otros estados como es nuestro caso, y este criterio nos permite eliminar a los otros estados de la naturaleza para poder considerar el problema como determinístico, bajo certeza.

Como E1 tiene una probabilidad de 0.50 y es por lo tanto el estado más probable. Este criterio reducirá el problema bajo riesgo a uno bajo certeza. Donde la matriz resultante es:

	E1(1)
A1 (Rutas y Autobuses)	900
A2 (Ampliación del metro)	2300
A3 (Metro-bus)	1500

Por lo tanto la alternativa seleccionada sería la 2.

La verdad este criterio no nos gustó pues desprecia los demás estados de la naturaleza sin tomar en cuenta que aun cuando en los demás existe la baja probabilidad de ocurrencia se tienen bajas ganancias en la mejor alternativa supuestamente considerando este criterio



Valor de la Información en las decisiones

En nuestra problemática planteada el valor de la información juega un papel muy importante puesto que sin ella nuestras alternativas de solución podrían ponerse en riesgo, es decir que los resultados no sean los que se esperen o peor aún que no solucionen la problemática y tengamos pérdidas en vez de ganancias.

Para atacar este problema nos enfocaremos a realizar un árbol de decisión que nos pueda ilustrar de una manera clara las opciones que tenemos.

En este árbol de decisiones tomamos en cuenta toda la información disponible que nos indica la probabilidad de éxito y de fracaso para cada alternativa, más adelante se presenta una tabla en donde se estiman las probabilidades de éxito y de fracaso que tiene cada alternativa.

Nota: los valores que se presentan en la rama de éxito de cada alternativa son los valores esperados de cada una mientras los valores obtenidos en la rama de fracaso para cada alternativa son un porcentaje(0.25) de este mismo valor. Mas adelante se explica la razón de por qué tienen este valor y no uno negativo que representaría las pérdidas de dinero.

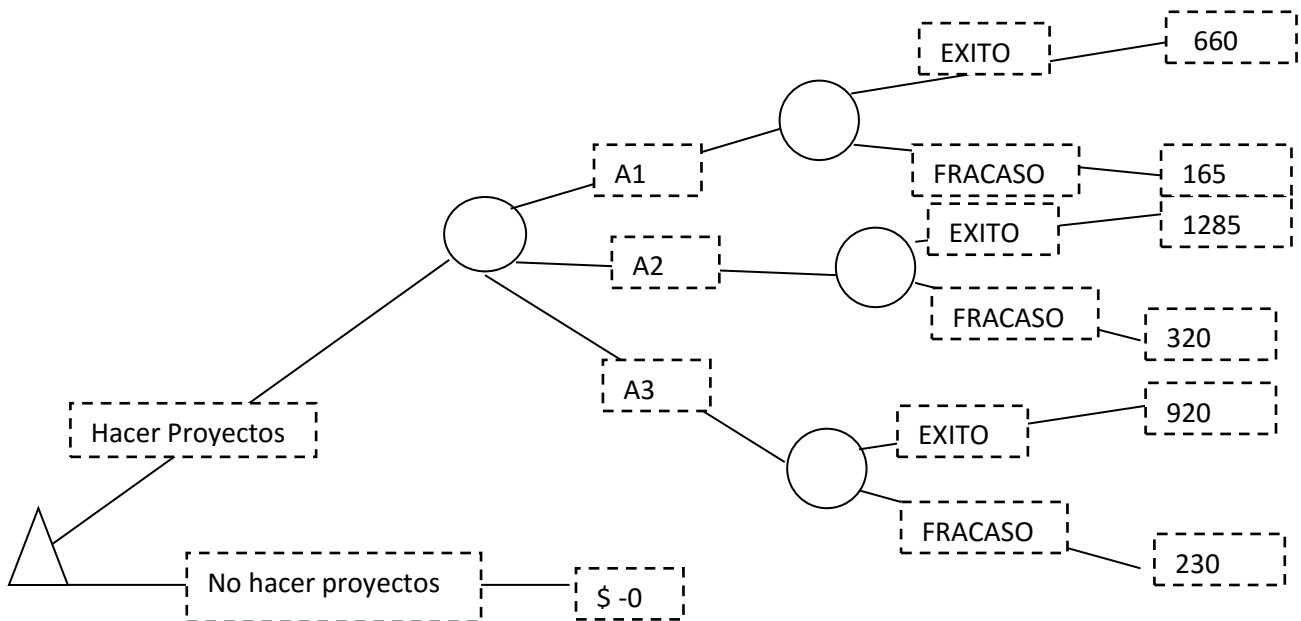


Imagen.-Árbol de decisión

Para obtener estos valores estimamos la probabilidad de éxito y de fracaso, en esta parte podemos mencionar que ya que estos proyectos aun cuando son un "fracaso" se puede describir de otra manera es decir que este tipo de proyectos de

sistemas de transportes el fracaso para estos no representa una pérdida más bien un bajo fondo de ingresos y un tiempo más largo de recuperación de inversión.

Para cada alternativa se estimó la probabilidad de fracaso y de éxito obteniendo estos valores:

Alternativa	Éxito	Fracaso
A1	0.6	0.4
A2	0.7	0.3
A3	0.4	0.6

De esta manera podemos obtener el valor esperado de participar y del no participar que es el siguiente:

$$VE(\text{HACER PROYECTOS})=660(0.6)+1285(0.7)+920(0.4) -165(0.4) - 320(0.3) - 230(0.6) =1363.5$$

$$VE(\text{HACER PROYECTOS})=1363.5$$

$$VE(\text{NO HACER PROYECTO}) = VE(0)=0$$

$$VE(\text{NO HACER PROYECTO}) =0$$

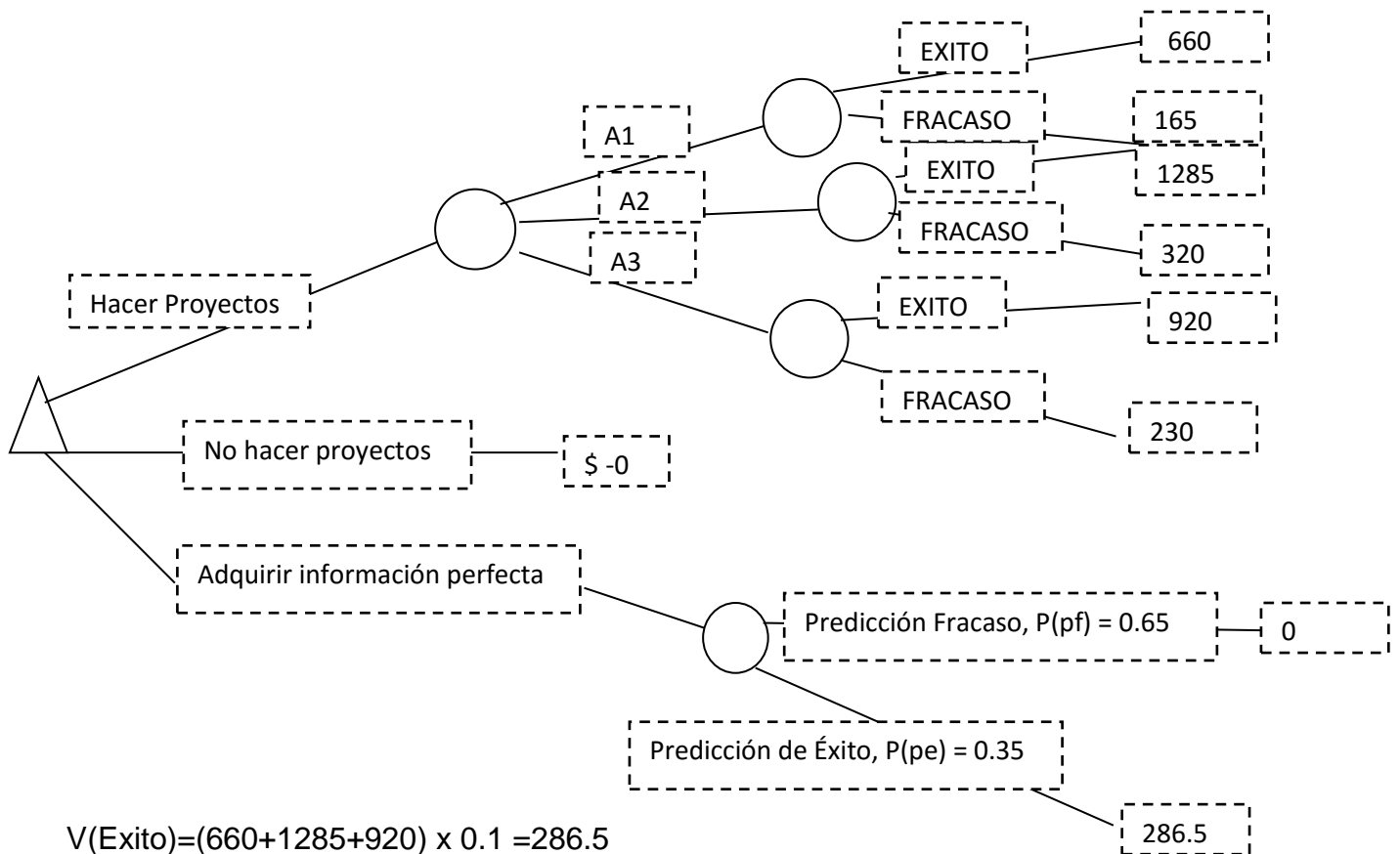
Sobre la base de un criterio de valor esperado, el análisis de la decisión sugiere que sería mejor seguir con los proyectos.

Esta nueva información deberá enfocarse a mejorar el proceso de asignación de probabilidades y su fuente de información deberá provenir de un muestreo al mundo real; en nuestro proyecto el decisor podría consultar a una empresa investigadora de mercados, para que le determine, mediante trabajo de campo, encuestas viaje- destino, aforos vehiculares y los correspondientes estudios de demanda para poder tener una mejor base de información.

INFORMACIÓN PERFECTA

Aun cuando en la vida real no existe tal cosa como la información perfecta gracias a la teoría de toma de decisiones es posible poder calcular un valor que nos muestre el límite de cuanto estamos dispuestos a pagar por información imperfecta pero el criterio final será del decisor que en base a su experiencia y la confiabilidad que ofrezca la empresa deberá elegir entre comprarla o no.

Para poder calcular el valor de esta información se realizara un árbol de decisión tomando en cuenta la opción de comprar la información perfecta.



$$V(\text{Exito}) = (660 + 1285 + 920) \times 0.1 = 286.5$$

Por lo tanto el valor de adquirir información perfecta dado que tenga éxito cualquier alternativa es:

$$VE(\text{Adq. Información Perfecta}) = 0(0.65) + 286.5(0.35) = 100.275$$

$$VE(\text{Adq. Información Perfecta}) = 100.275$$

Si la predicción perfecta indica que hacer proyectos para solucionar esta problemática en la ciudad será un éxito entonces podremos optar por la opción de realizar proyectos en este caso podremos seguir avanzando. Se deberá tener en cuenta que la probabilidad de la predicción perfecta del éxito es un porcentaje de la suma de éxito de cada una de las alternativas, dado que los eventos están perfectamente correlacionados con la misma causa y finalidad de satisfacer una necesidad y que en este tipo de proyectos solo un porcentaje del proyecto está aprobado para realizar la compra de información en nuestro proyecto

consideramos el 10%. En esta forma la decisión óptima es seguir adelante conforme al resultado de usar la predicción perfecta, el cual tuvo un valor esperado de 100.275 unidades de ganancia:

$$VE(\text{NO HACER PROYECTOS})= 0 \quad VE(\text{COMPRAR INFORMACION}) = 100.275$$

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

$$VE(IP) = VE/IP - VE/ID = 100.275 - 0 = 100.275$$

Este valor por lo tanto es el límite que podemos pagar por información imperfecta ya que ninguna puede ser mejor puesto que suponemos que esta es perfecta.

INFORMACIÓN IMPERFECTA

Si la empresa investigadora de mercados está pensando en realizar un muestreo para estimar las posibilidades de éxito de realizar proyectos de transporte para la ciudad, el costo más grande que pudiera asignarse es 100.275, mismo que puede disminuir en proporción a la incertidumbre sobre la veracidad de recomendación de la empresa, ya que el muestreo no aporta una información perfecta. En la práctica nunca se tiene acceso a la información perfecta, sin embargo el concepto resulta de mucha utilidad por proporcionar una frontera superior del costo del muestreo. El valor esperado con información imperfecta (VE/II) y el valor esperado de la información imperfecta (VEII) son evaluados de una forma análoga:

$$VE(II)=VE/II - VE/ID$$

En donde para calcular VE/II será necesario un árbol de decisiones auxiliar que es el que se muestra a continuación:

Antes de seguir con el análisis del árbol auxiliar de decisiones mencionaremos algunos de los datos de la empresa consultora.

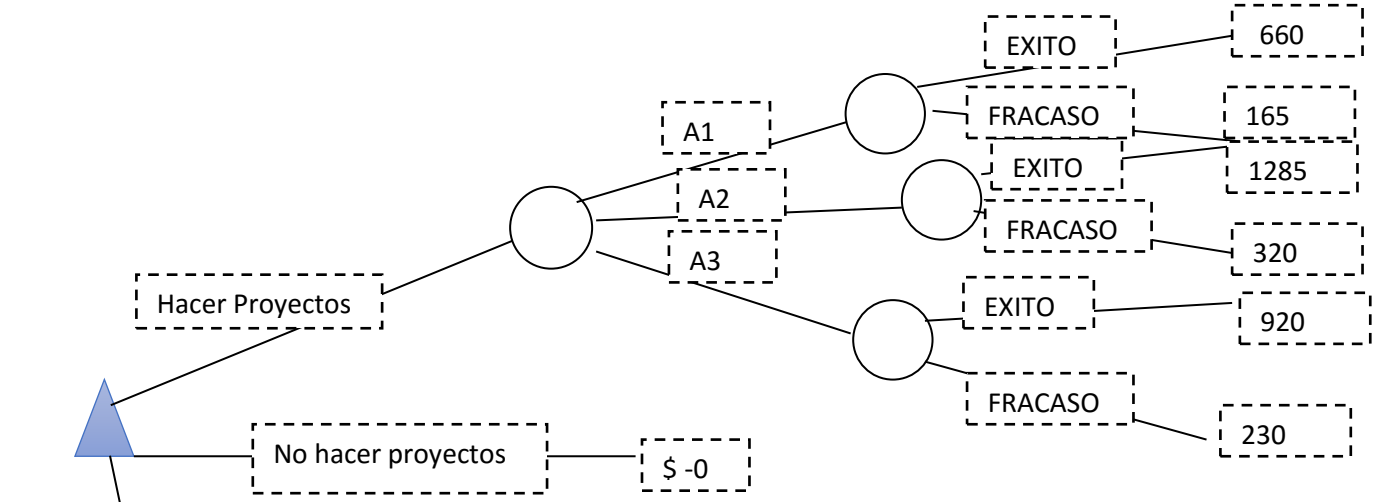
Empresa Consultora

INEGI esta empresa se dedica principalmente a recabar todos los datos relacionado a las estadísticas del país sin en cambio también funciona como una empresa que realiza trabajos específicos para un fin privado, es a esta empresa a la quien en base a su experiencia y su alta recomendación optamos por consultar para hacer el compro de información que pudiera ayudar con la realización del proyecto.

Esta empresa nos proporcionó una tabla con las diferentes probabilidades de nuestras alternativas de las respuestas probables en donde se acota con B las buenas perspectivas y con una M las malas perspectivas.

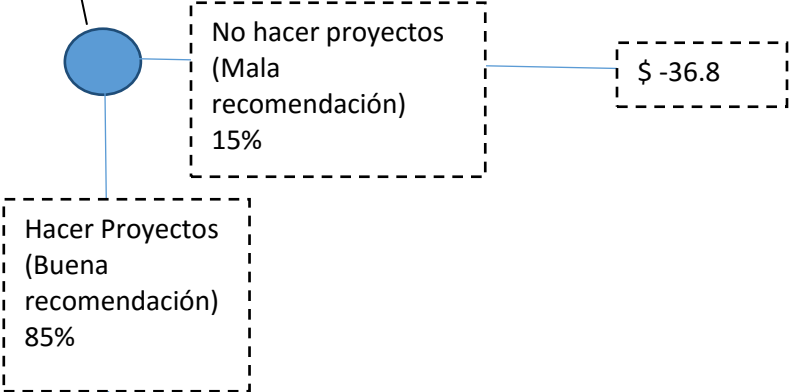
ALTERNATIVAS	B(%)	M(%)
--------------	------	------

1	60	40
2	70	30
3	40	60



Adquirir información imperfecta

Para hacer mejor el entendimiento de este árbol se mostrara en la página siguiente la continuación.....



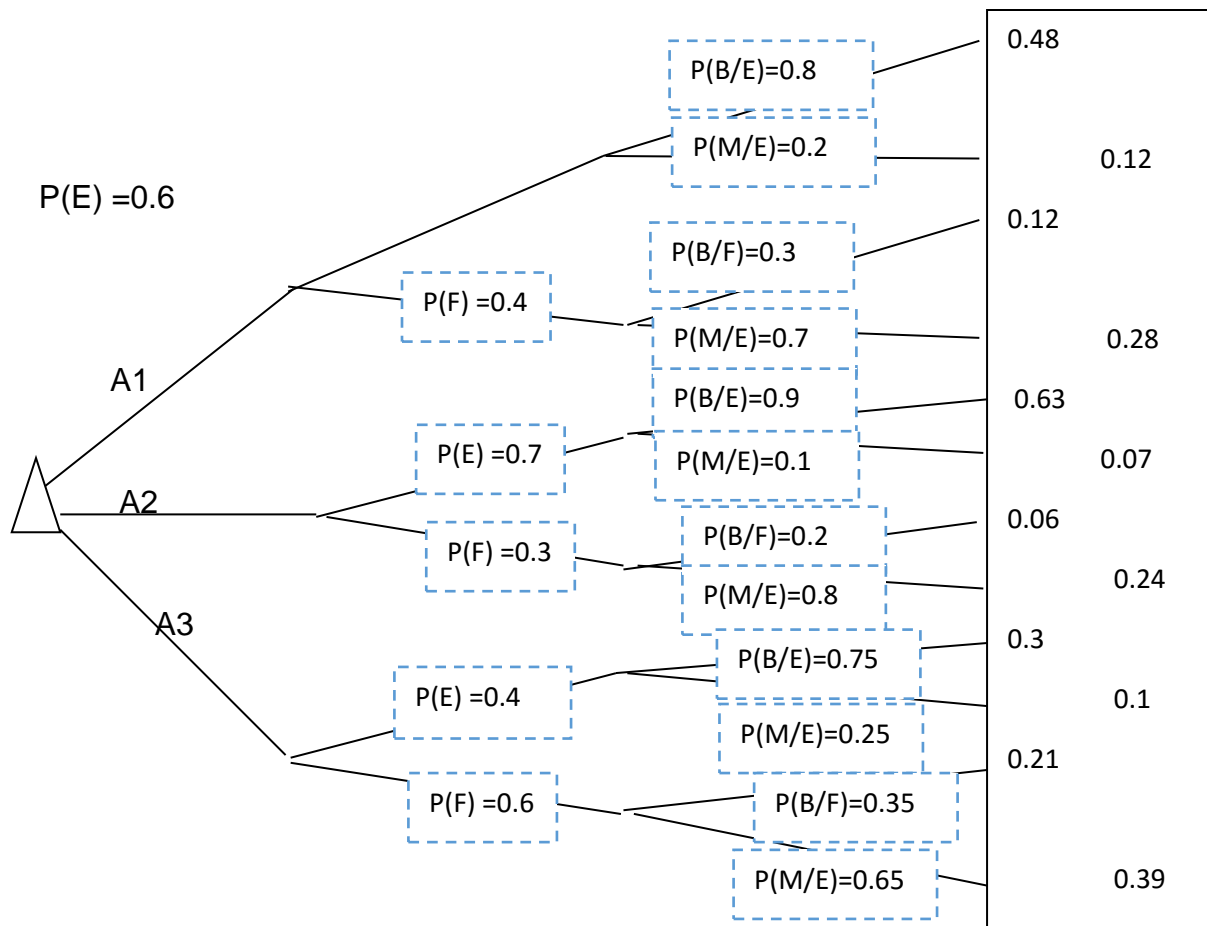


Imagen Árbol auxiliar para el cálculo del valor de la información imperfecta

Por lo tanto obtenemos los valores de $P(B)$ Y $P(M)$ para cada alternativa

Para A1

$P(B) = 0.6$ $P(M) = 0.4$

Para A2

$P(B) = 0.69$ $P(M) = 0.31$

Para A3

$P(B) = 0.51$ $P(M) = 0.49$

$$VE(II) = 660(0.6)+1285(0.69)+920(0.51)-165(0.4)-320(0.31)-230(0.49)$$

$$VE(II)=1473/4 =368.25$$

Pero como en el caso anterior se asigna solo un porcentaje(10%) del promedio del valor esperado por la interrelación de los proyectos queda nuestro valor de la información imperfecta como

$$VE(II)=36.8$$

Menor que el valor de la información perfecta esto es correcto y es un buen precio que se puede pagar por el costo de la información.

Si suponemos por simplicidad de exposición, que la empresa investigadora de mercados sólo dará dos tipos de respuestas probables, una buena (B) que anuncia las buenas perspectivas de los proyectos a realizar y una mala (M) recomendando abandonar el proyecto, además deberá tenerse en cuenta que esta información tendrá un costo de n unidades

Con este árbol podemos calcular gracias al teorema de Bayes las probabilidades totales que se muestran a continuación:

Para la alternativa 1

$$P(E/B) = [P(B/E)P(E)]/P(B) = (0.8*0.6)/0.6 = 0.8$$

$$P(F/B) = [P(B/F) P(F)]/P(B) = 0.3*0.4/0.6=0.2$$

$$P(E/M) = [P(M/E) P(E)]/P(M) = (0.2*0.6)/0.4=0.3$$

$$P(F/M) = [P(M/F) P(E)]/P(M) = (0.7*0.4)/0.4=0.7$$

Para la alternativa 2

$$P(E/B) = [P(B/E) P(E)]/P(B) = (0.9*0.7)/0.69=0.91$$

$$P(F/B) = [P(B/F) P(F)]/P(B) = (0.2*0.3)/0.69 = 0.09$$

$$P(E/M) = [P(M/E) P(E)]/P(M) = (0.1*0.7)/0.31=0.22$$

$$P(F/M) = [P(M/F) P(E)]/P(M) = (0.8*0.3)/0.31=0.88$$

Para la alternativa 3

$$P(E/B) = [P(B/E) P(E)]/P(B) = (0.75*0.4)/0.51=0.58$$

$$P(F/B) = [P(B/F) P(F)]/P(B) = (0.35*0.6)/0.51=0.42$$

$$P(E/M) = [P(M/E) P(E)]/P(M) = (0.25*0.4)/0.49=0.20$$

$$P(F/M) = [P(M/F) P(E)]/P(M) = (0.65*0.6)/0.49=0.80$$

Con estas probabilidades nos enfocaremos a determinar primeramente el valor total esperado para cada alternativa y de esta manera poder seleccionar la mejor alternativa con el criterio del mejor valor esperado total.

Para A1

$$V(ET) = 660(0.8) + 660(0.3) - 165(0.2) - 165(0.7)$$

$$V(ET) = 577.2$$

Para A2

$$V(ET) = 1285(0.91) + 1285(0.22) - 320(0.09) - 320(0.88)$$

$$V(ET) = 1141.65$$

Para A3

$$V(ET) = 920(0.58) + 920(0.2) - 230(0.42) - 230(0.8)$$

$$V(ET) = 437$$

Por lo tanto la mejor alternativa que seleccionaremos, comprando información imperfecta con el INEGI y a un costo muy accesible, es la alternativa número 2(A2) que hasta ahora parece la mejor mas adelante y gracias al enfoque de utilidad podremos comparar estos valores que son puramente monetarios con valores tangibles como son el número de personas beneficiadas.

Estos temas que se han abarcado hasta ahora, son de mucha ayuda puesto que los proyectos de ingeniería civil requieren de ingenieros que se han capaces de poder plantear una solución óptima y adecuada que se justifique de manera matemática con un planteamiento razonable.

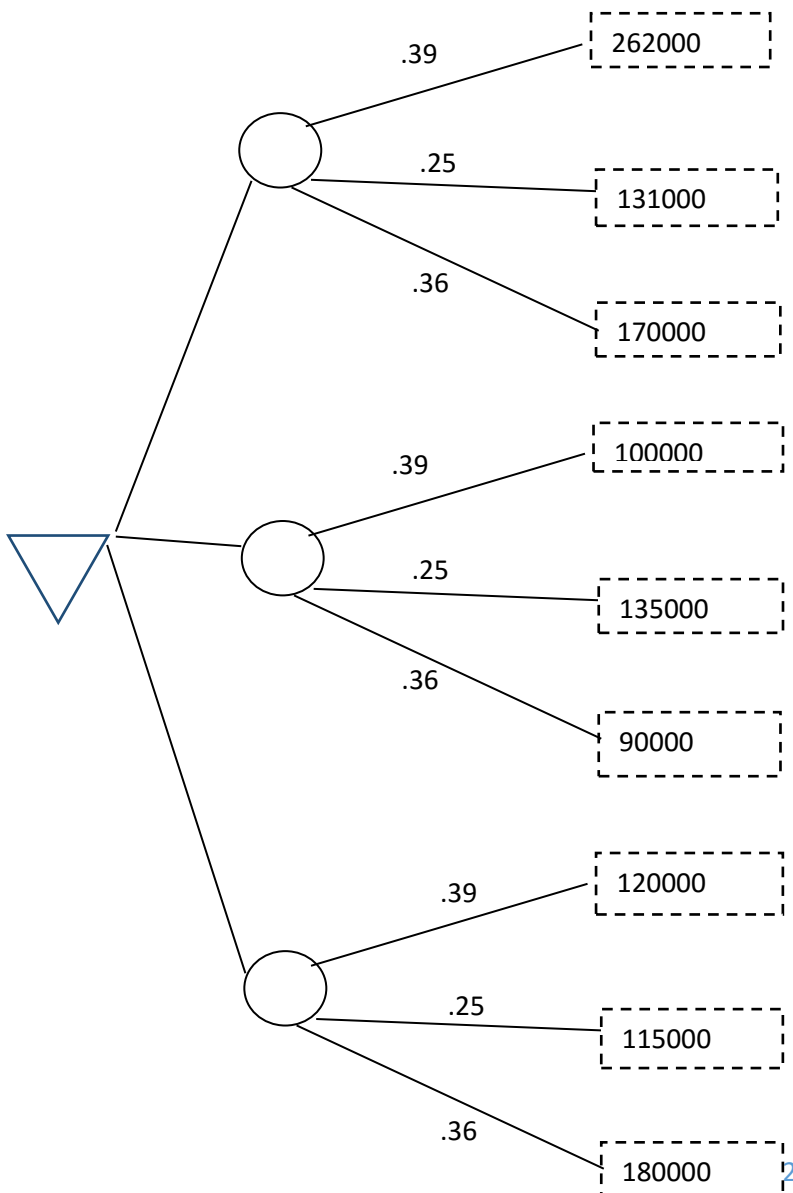
Hasta ahora nuestro objetivo primordial es seleccionar la mejor alternativa para la solución de un problema que se presenta en una ciudad de México. Hasta ahora el objetivo se está cumpliendo y nuestras decisiones están tomadas en base a lo visto de la teoría de decisiones cabe mencionar que al final la decisión que se tome además de estos criterios el decisor deberá tomar en cuenta los factores alternos que no se pueden analizar con un enfoque de sistema duro es decir deberá tomar en cuenta las variables que tienen los sistemas suaves para que de esta manera no perjudique el contexto social.

Enfoque de Utilidad en las decisiones

Curvas de utilidad

Para poder comparar los distintos escenarios y unidades es necesario transformar estas a una escala común, en esta técnica se transforman los distintos beneficios en utilidades, haciendo así comparables los beneficios sin importar a que se refieran estos.

Para el proyecto como objetivo principal hemos planteado el número de personas transportadas diariamente obteniendo así el siguiente árbol de alternativas



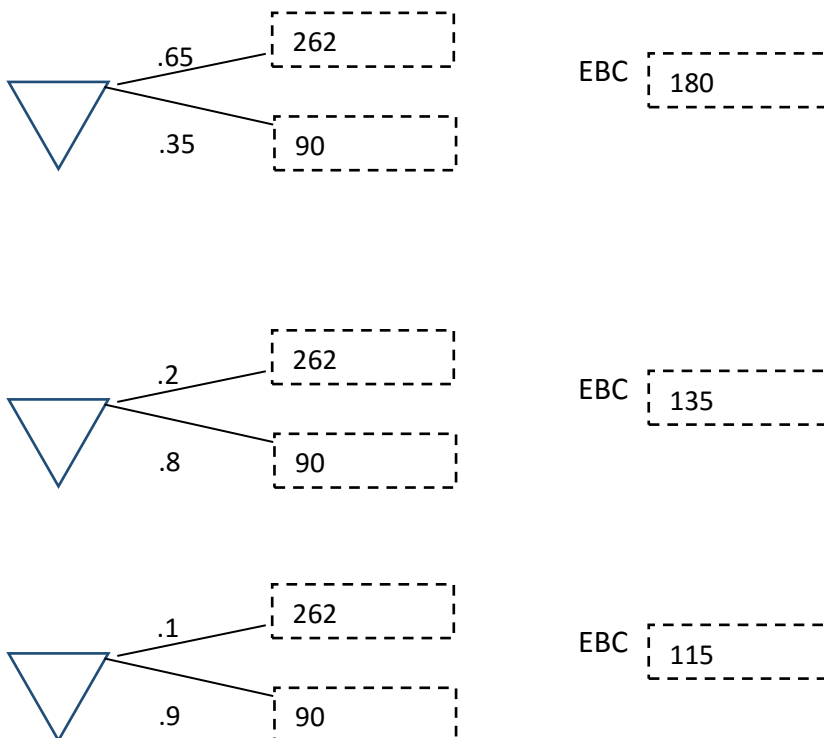
Para la construcción de la curva de utilidad se escoge como objetivo el número de personas transportadas por día siendo esta problemática la señalada en el árbol de decisiones arriba mostrado

Primer método.

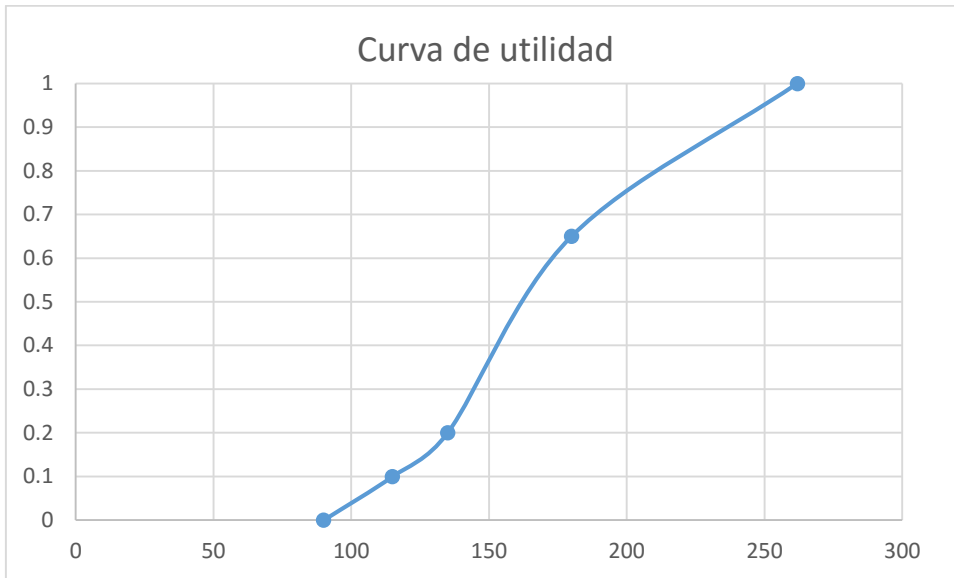
Cuestionando probabilidades

Partiendo de una lotería identificamos el mejor o mas favorable estado y el peor o menos deseado y al mejor le asignamos un valor utilitario de 1, mientras que para el peor estado asignamos un valor de 0, una vez con esto procedemos a elegir otros tres estados y a armar las correspondientes loterías usando el mejor y el peor valor cuestionando al decisor acerca de las **probabilidades** que aceptaría para que le fuera indistinto participar en ella u obtener el EBC.

Teniendo



A partir de estas probabilidades escogidas a criterio exclusivo del decisor, podemos construir la siguiente gráfica a la cual llamaremos curva de utilidad.



Siendo esta un indicador para estimar el valor esperado utilitariamente hablando, nótese que la utilidad es adimensional dándonos la capacidad de ponderar casos en los que se contemplan situaciones variadas o distintas a un enfoque puramente económico.

Los valores esperados utilitariamente hablando se calculan a continuación

$$VUE(A1) = ((.39)*(1)+(.25)*(.23)+(.36)*(.55))*(1000) = 645.5$$

$$VUE(A2) = ((.39)*(.09)+(.25)*(.2)+(.36)*(0))(1000) = 85.1$$

$$VUE(A\#) = ((.39)*(.15)+(.25)*(.13)+(.36)*(.67))(1000) = 332.2$$

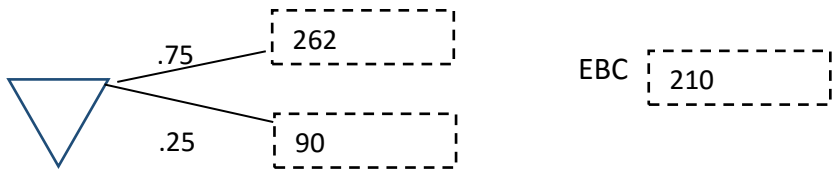
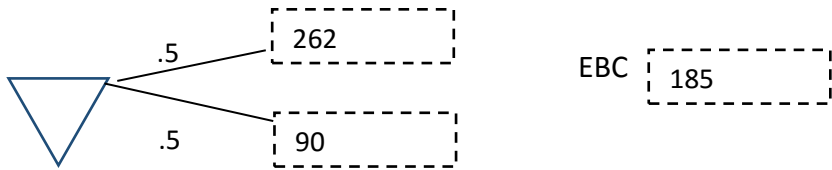
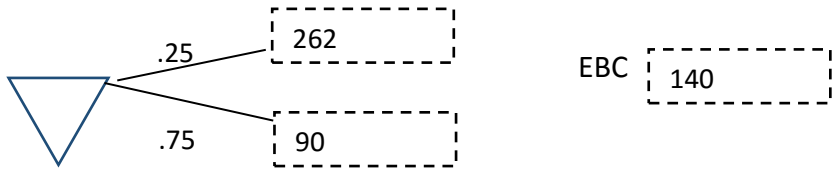
Teniendo como resultado que la mejor alternativa es la número 1

Segundo método

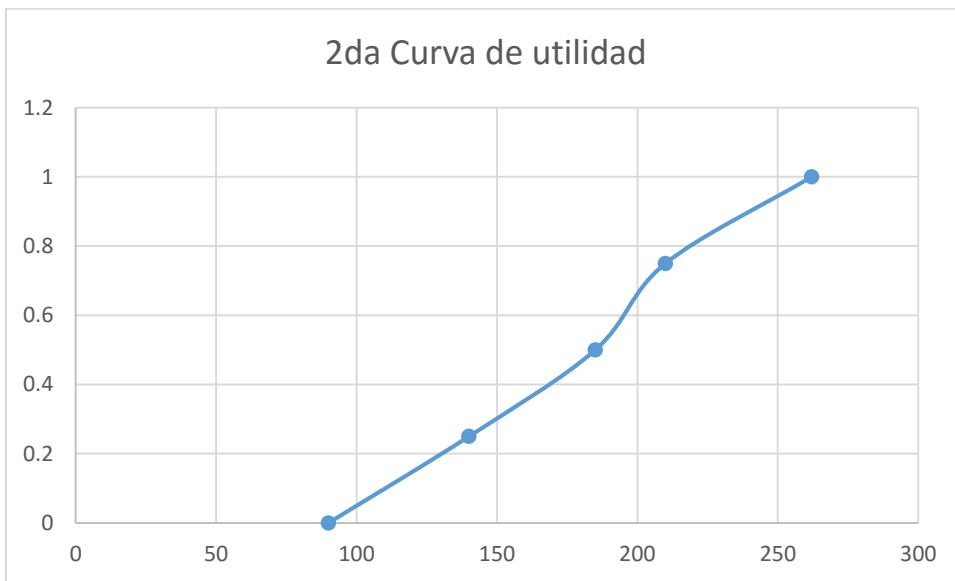
Cuestionando EBC

Partiendo de una lotería identificamos el mejor o mas favorable estado y el peor o menos deseado y al mejor le asignamos un valor utilitario de 1, mientras que para el peor estado asignamos un valor de 0, una vez con esto procedemos a elegir otros tres estados y a armar las correspondientes loterías usando el mejor y el peor valor cuestionando al decisor acerca de los **EBC** que aceptaría para que le fuera indistinto participar en ella o recibir este basado en las probabilidades ahí mostradas.

En este caso obtenemos (262,210,185,140,90) y con estos valores procedemos a construir las siguientes loterías



Con estas loterías y valores podemos construir la siguiente curva de utilidad



Para esta segunda curva de utilidad podemos calcular el valor utilitario esperado como:

$$VUE(A1) = (.39)(1) + (.25)(.2) + (.36)(.38)(1000) = 576.8$$

$$VUE(A2) = (.39)(.07) + (.25)(.21) + (.36)(0)(1000) = 79.8$$

$$VUE(A3) = (.39)(.16) + (.25)(.12) + (.36)(.48)(1000) = 265.2$$

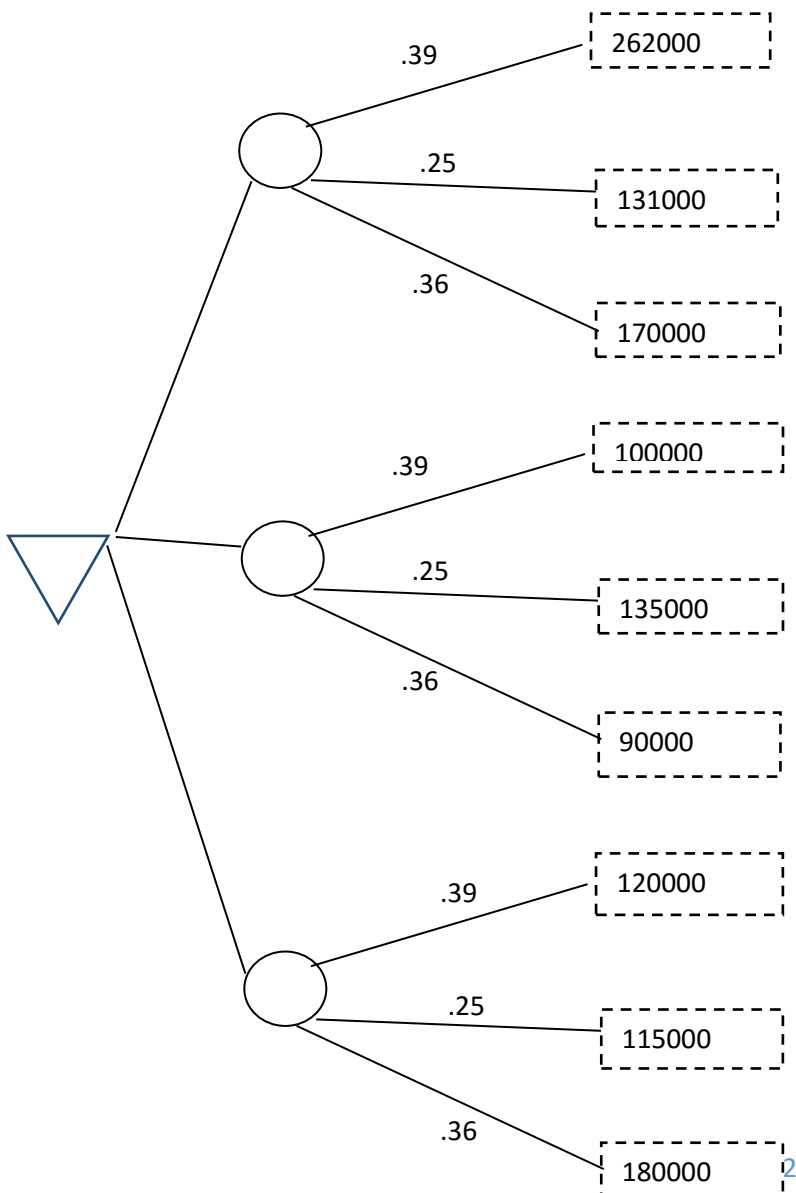
Obteniendo como resultado (y congruentemente con el método anterior) que la mejor alternativa es la número 1

Multiobjetivos

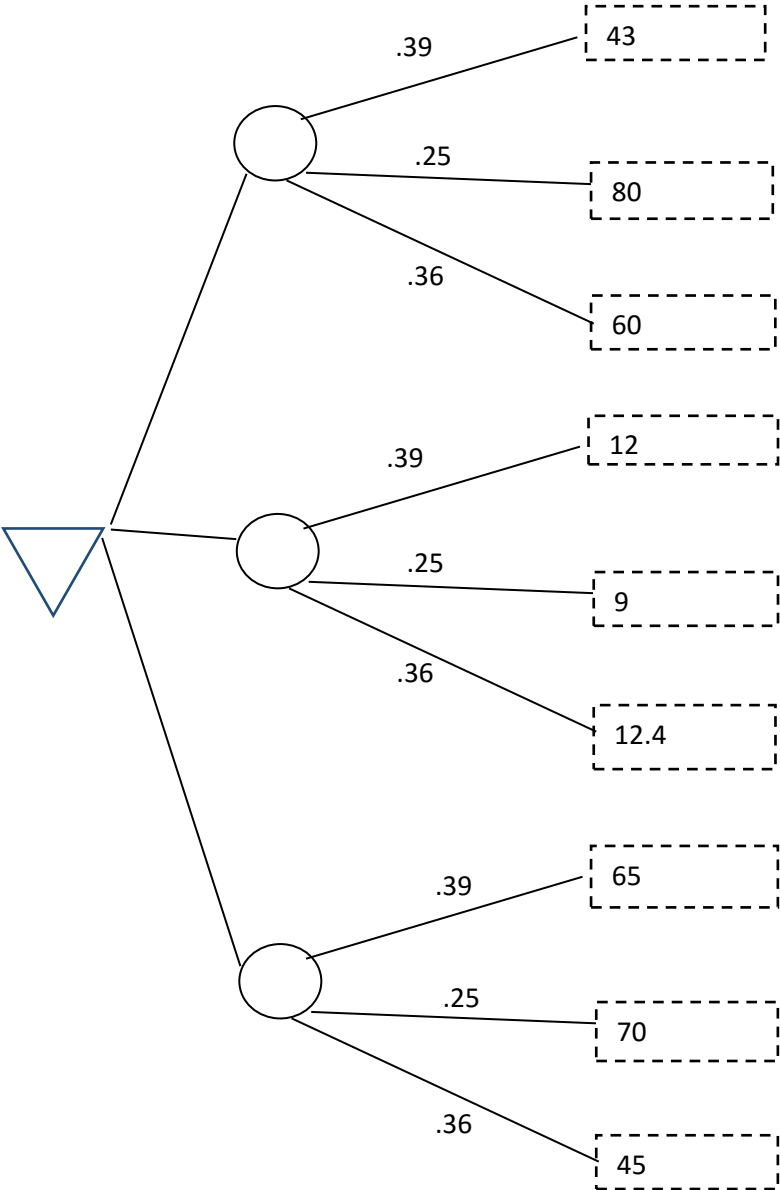
Para este capítulo primero identificaremos los objetivos deseados o a evaluar, como primer objetivo seguiremos con el inicialmente planteado siendo este el número de pasajeros transportados diariamente, el segundo objetivo será el tiempo de recuperación de la inversión realizada en el proyecto siendo este el aspecto económico y finalmente el tercer objetivo será el impacto ecológico enfocándonos a los niveles de emisiones o contaminantes indirectos.

Para esto necesitaremos armar árboles de alternativas con valores que midan cada uno de los criterios.

Primer árbol

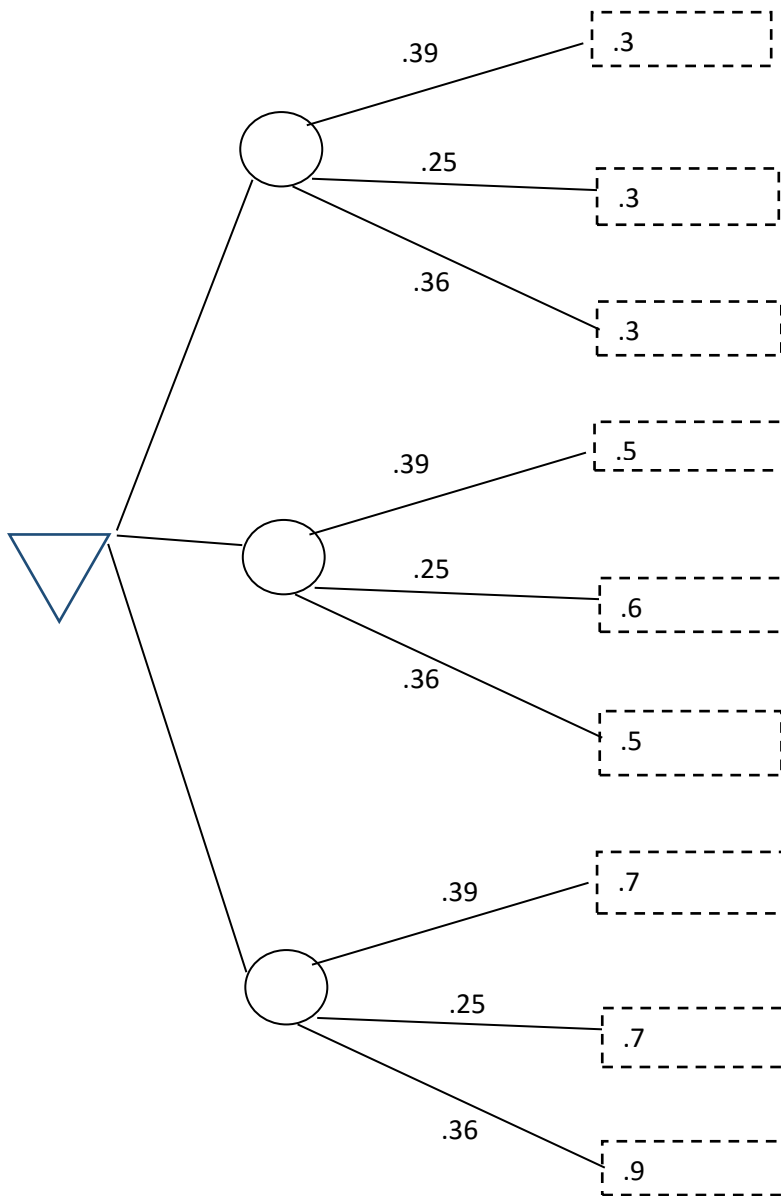


Segundo árbol



Este representa el tiempo de retorno de la inversión, para estos datos se contrató a un especialista en el área para hacer estimaciones de uso, reinversiones, gastos y ganancias directas e indirectas

Tercer árbol



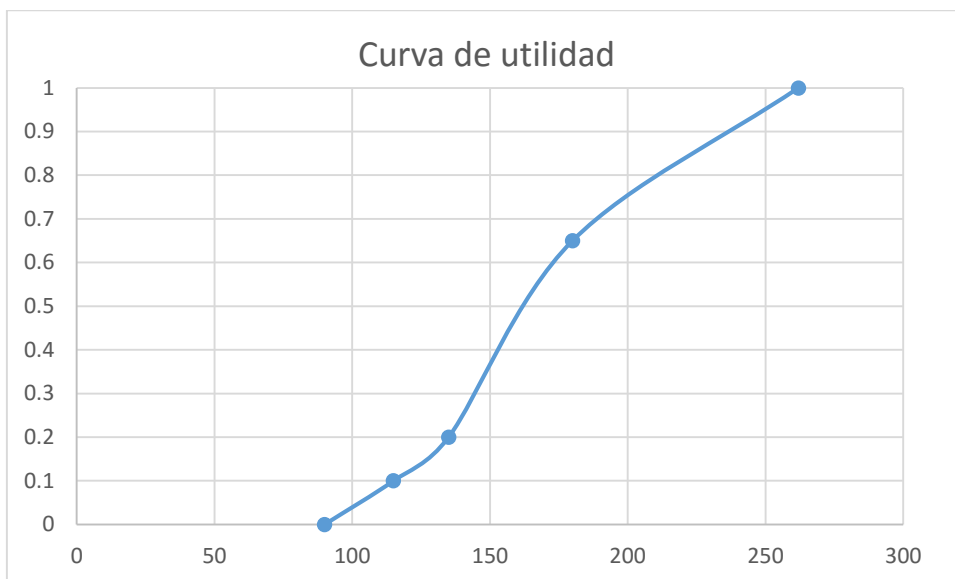
Este tercer árbol representa el impacto ecológico y niveles de contaminantes dispuestos por cada una de las alternativas dependiendo de los distintos estados que se puedan presentar, para esto también se contrato a una empresa especializada y debidamente certificada.

*las unidades son adimensionales esto por tratarse de un estudio muy específico el cual va desde 0 hasta 1 siendo 1 un daño grave al medio ambiente

Para poder evaluar las distintas alternativas conforme a los distintos objetivos debe construirse una curva de utilidad acorde a cada uno de los criterios , para la construcción de estas se seguirá el método antes mostrado pero con los nuevos valores.

El método elegido para la construcción de las curvas de utilidad es el cuestionamiento de probabilidades.

La primera curva la obtenemos del apartado anterior siendo



Los valores esperados utilitariamente hablando se calculan a continuación

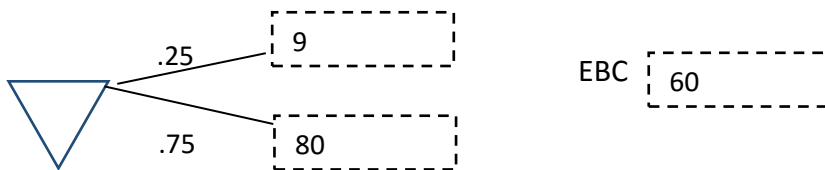
$$VUE(A1) = ((.39)*(1)+(.25)*(.23)+(.36)*(.55))*(1000) = 645.5$$

$$VUE(A2) = ((.39)*(.09)+(.25)*(.2)+(.36)*(0))*(1000) = 85.1$$

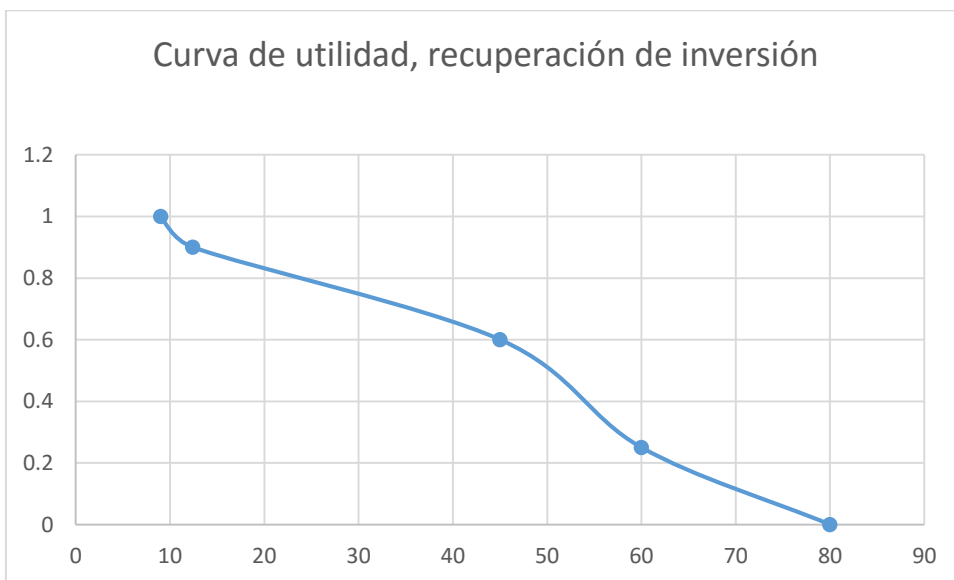
$$VUE(A\#) = ((.39)*(.15)+(.25)*(.13)+(.36)*(.67))*(1000) = 332.2$$

Teniendo como resultado que la mejor alternativa es la número 1

Las nuevas curvas las construimos con las siguientes loterías



Y así podemos obtener la siguiente curva de utilidad referente a el tiempo de recuperación de la inversión hecha



*Nótese que la curva tiene una pendiente negativa debido a que el menor tiempo posible es el resultado deseado

Calculando el valor utilitario esperado obtenemos

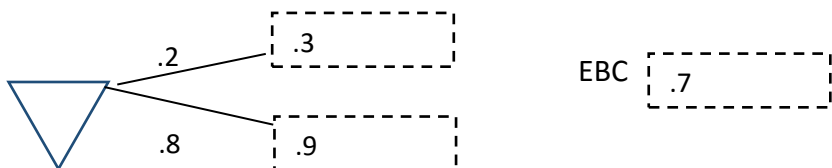
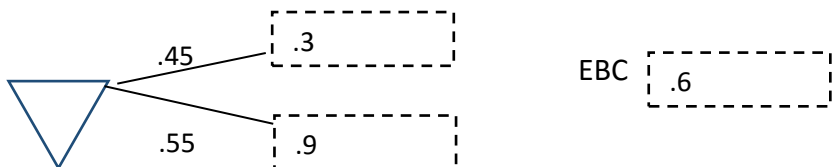
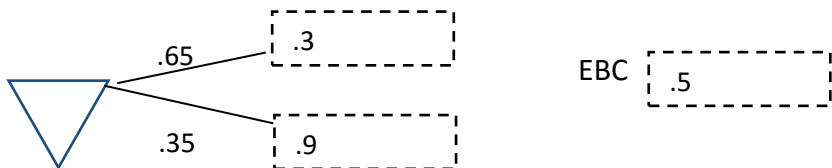
$$VUE(A1) = (.39) * (.61) + (.25) * (0) + (.36) * (.25) = .328$$

$$VUE(A2) = (.39) * (.92) + (.25) * (1) + (.36) * (.9) = .9328$$

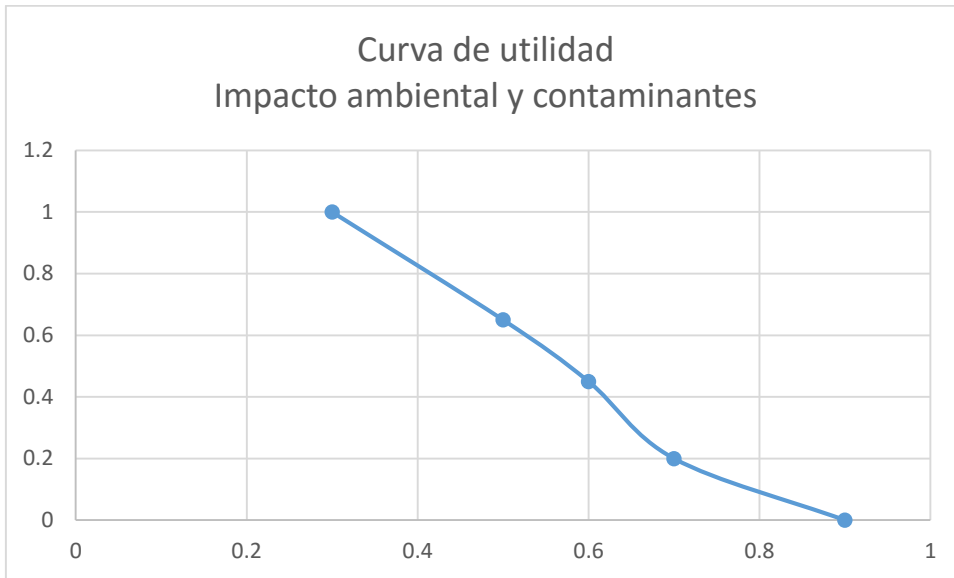
$$VUE(A3) = (.39) * (.19) + (.25) * (.13) + (.36) * (.6) = .322$$

Por lo tanto bajo este objetivo podemos concluir que la mejor alternativa es la número 2

Para la tercera curva del objetivo de contaminación e impacto ambiental formulamos las siguientes loterías



Con estas loterías podemos armar la siguiente curva



Calculando el valor utilitario esperado con el objetivo de el menor impacto ambiental posible obtenemos

Los valores esperados utilitariamente hablando se calculan a continuación

$$VUE(A1) = ((.39)*(.3) + (.25)*(.3) + (.36)*(1)) = 1$$

$$VUE(A2) = ((.39)*(.65) + (.25)*(.45) + (.36)*(.65)) = .6$$

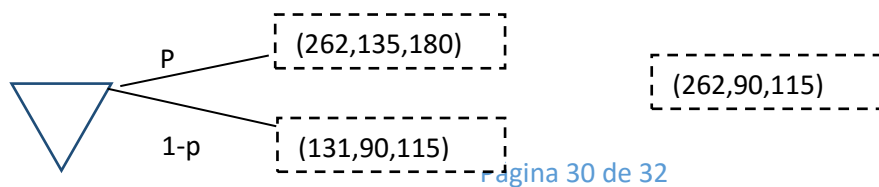
$$VUE(A3) = ((.39)*(.2) + (.25)*(.2) + (.36)*(0)) = .13$$

Teniendo como resultado que la mejor alternativa es la número 1

Función de utilidad multilineal

Para el caso de estudio se ha determinado que pertenece a un conjunto con independencia mutua entre las utilidades, con esto podemos proceder a una descomposición de la función de utilidad, dado que se sabe que esta es de forma multiplicativa tenemos que $U(X_1, \dots, X_n) = \pi_1^{\pi} (1 + Kk_1 u_i(x_i))^{(-1/K)}$. Esto requiere que todas las k_i sean calculadas; estos valores pueden ser encontrados exactamente, estimando que valores de p_i hacen que el equivalente bajo certeza para cada lotería igual a la certeza de X_i a su mejor nivel y todos los otros a su peor.

Por lo tanto podemos continuar hacia el cálculo de las constantes usando las sig loterías



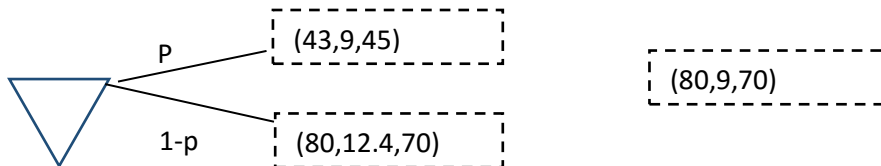
Entonces tenemos:

$$pU((262,135,180)) + (1-p)U(131,90,115) = U(262,90,115)$$

obteniendo

$p = .3$ y por lo tanto $k_1 = .3$

y de la siguiente lotería

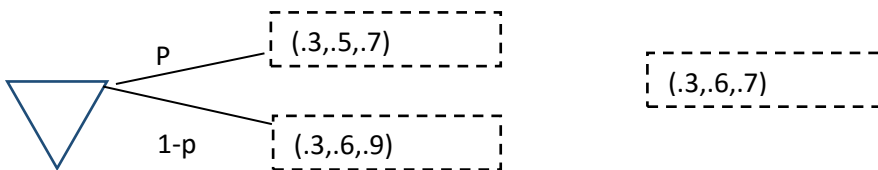


$$pU((43,9,45)) + (1-p)U((80,12.4,70)) = U(43,9,70)$$

obteniendo

$p = .1$ y por lo tanto $k_2 = .1$

y con la siguiente lotería



$$pU((.3,.5,.7)) + (1-p)U((.3,.6,.9)) = U(.3,.6,.7)$$

obteniendo

$p = .2$ y por lo tanto $k_2 = .2$

por lo tanto podemos comenzar a armar la siguiente ecuación:

$$K = (1 + .3K)(1 + .1K)(1 + .2K) - 1$$

Aquí comienza un proceso iterativo en busca del valor más próximo a K , después de varias vueltas llegamos a un valor aceptable siendo

$K = -.12$

*Este proceso se hizo mediante una calculadora que maneja métodos numéricos

Finalmente podemos sustituir en la función para poder ponderar el valor de las utilidades de manera conjunta

$$U(X_1, \dots, X_n) = \pi_1^n (1 + Kk_1 u_i(x_i))^{-1/K}$$

Usamos una tabla par reconocer de manera mas sencilla las utilidades de cada alternativa en cada escenario

Alternativa	objetivo 1	objetivo 2	objetivo 3
1	1	.1	1
2	0	1	.6
3	.6	0	0

Para la alternativa número 1

$$U(X_1, X_2, X_3) = (1 + (-.12)(1)) (1 + (-.12)(.1)) (1 + (-.12)(1))$$

$$U(X_1, X_2, X_3) = 1.269$$

Para la alternativa número 2

$$U(X_1, X_2, X_3) = (1 + (-.12)(0)) (1 + (-.12)(1)) (1 + (-.12)(.6))$$

$$U(X_1, X_2, X_3) = 1.200$$

Para la alternativa número 3

$$U(X_1, X_2, X_3) = (1 + (-.12)(.6)) (1 + (-.12)(0)) (1 + (-.12)(0))$$

$$U(X_1, X_2, X_3) = .1.07$$

Con la información mostrada y los puntos expuestos anteriormente podemos llegar a concluir que la mejor alternativa a escoger es la número uno, esto pues ha destacado notablemente en los criterios siendo ampliamente superior en el principal, la movilidad de los ciudadanos dentro de la mancha urbana y en un contexto global se aprecia como la mejor de las 3