UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO FINAL

“SISTEMA DE TRANSPORTE”

INGENIERÍA DE SISTEMAS

GRUPO: 4

DR. JUAN ANTONIO VALLE FLORES

SIMON FUENTES SAID DE JESUS

25 DE NOVIEMBRE DE 2016

CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA SATISFACER LAS NECESIDADES DE COMUNICAR DIVERSOS PUNTOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

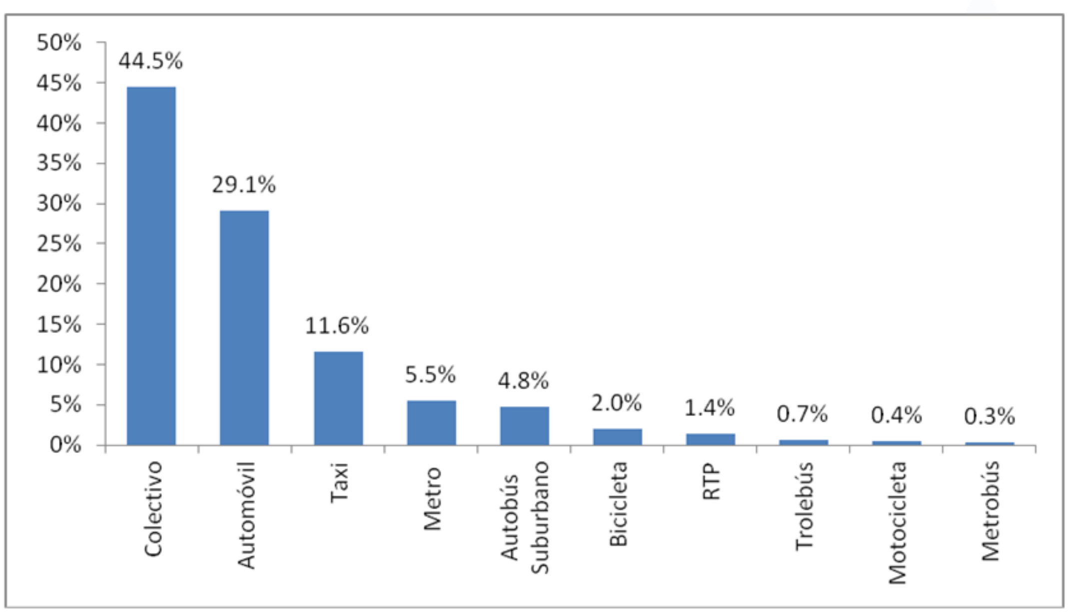
INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México cuenta con 20 millones de habitantes. Brindarle movilidad a cada uno de ellos implica tener un servicio de transporte público de enormes magnitudes. Los servicios de transporte actuales constan de diferentes medios que, si bien permiten la movilidad de la mayor parte de la población, no operan con eficiencia y calidad. Esto genera un sin número de problemas (contaminación, tráfico, estrés, pérdida de horas hombre, etc.) que reducen la calidad de vida de la población.

El transporte público en la Ciudad de México se compone de diferentes medios: metro, tren ligero, tren suburbano, metrobús, mexibus, trolebús, RTP, colectivo, autobús suburbano y taxis.

Estos componen una red en la que a diario se realiza 78.5% de los viajes de la ciudad. El resto se hace en transporte privado, siendo el automóvil particular el que mayor participación de los viajes tiene. En cuanto al transporte público, la mayor parte de los viajes se realizan en transporte concesionado colectivo de pasajeros o mejor conocidos como microbuses (44.55%).

GRÁFICA 1: NÚMERO DE VIAJES POR MEDIO DE TRANSPORTE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO 2007 (porcentaje)



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se requiere construir un sistema de transporte para satisfacer la necesidad de conectar el rosario con valle de Aragón en la ciudad de México. Entre las alternativas posibles se tiene construir infraestructura para un metro subterráneo, un tren ligero o un metrobus. Cada una de estas alternativas genera un costo de construcción.

Puede haber la posibilidad de que al elegir algunas de las alternativas se presenten tres estados de la naturaleza los cuales son: el total cubrimiento de la demanda de pasajeros, no se cubra la demanda requerida de pasajeros o la demanda sea menor a la esperada, estos estados pueden ocurrir con la probabilidad de 0.50, 0.30 y 0.20 respectivamente de acuerdo a estudios realizados por el instituto mexicano del transporte.

En caso de que se elija construir el sistema metro los costos de construcción, operación y mantenimiento por cubrir la demanda de pasajeros, no cubrir la demanda de pasajeros o que la demanda sea menor a la esperada serán: 14,000, 20,000 y 16,000 millones de pesos respectivamente.

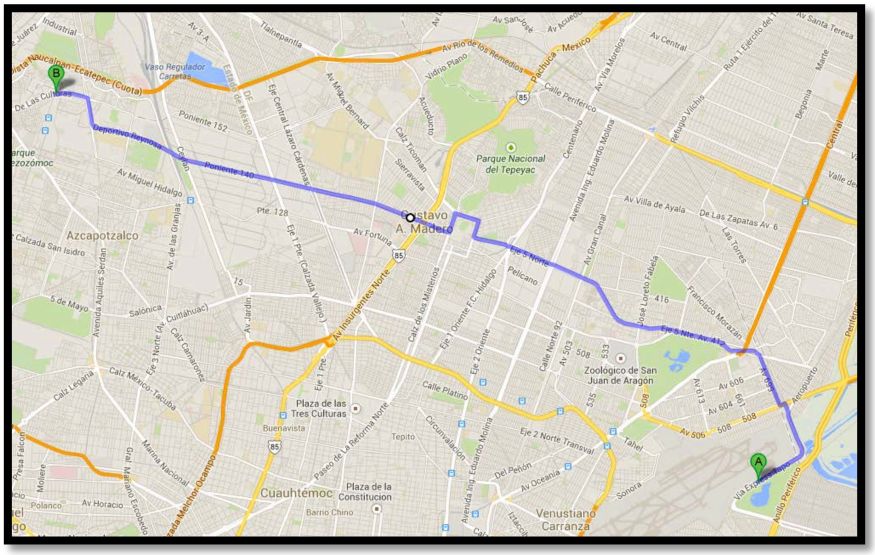
En caso de que se elija construir el sistema tren ligero los costos de construcción, operación y mantenimiento por cubrir la demanda de pasajeros, no cubrir la demanda de pasajeros o que la demanda sea menor a la esperada serán: 10,000, 22,000 y 9,000 millones de pesos respectivamente.

En caso de que se elija construir el sistema metrobus los costos de construcción, operación y mantenimiento por cubrir la demanda de pasajeros, no cubrir la demanda de pasajeros o que la demanda sea menor a la esperada serán: 4,000, 16,000 y 10,000 millones de pesos respectivamente.

Al elegir alguna de las alternativas consideradas se corren diversos riesgos por ejemplo: invertir mucho y tener un beneficio muy bajo, invertir poco y no cumplir con el objetivo planteado de abastecer la demanda, entre otros más. Es por esto que es de gran importancia analizar diversos puntos de la ingeniería de sistemas para poder tomar una decisión.

UBICACIÓN

Se requiere construir un medio de transporte que conecte el Rosario y villa de Aragón**,** pasando por Eje 5 Norte, Montevideo, San Juan de Aragón y la avenida Loreto Fabela, con una terminal en la Avenida Central.



ALTERNATIVAS

- A1: Creación de un sistema de transporte metro subterráneo
- A2: Creación de un sistema de transporte tren ligero
- A3: Creación de un sistema de transporte metrobus

ESTADOS DE LA NATURALEZA

- E1: Cubra la demanda de pasajeros
- E2: No cubra la demanda de pasajeros
- E3: La demanda sea menor a la esperada

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ACUERDO A LOS ESTADOS DE LA NATURALEZA

- **A1: Creación de un sistema de transporte metro subterráneo**

El metro de la ciudad de México tiene en promedio una demanda cerca de 380,000 usuarios al día, lo cual nos indica que es apropiado construirlo en zonas donde la concurrencia de personas sea alta, debido a que este sistema es costoso pero atiende una demanda mucho mayor en comparación al metrobus o al tren ligero.

Por otro lado si la demanda es mayor a la demanda que atiende este medio de transporte se generaría un costo mayor ya que se tendría que invertir en la posibilidad de construir un sistema de transporte auxilia por ejemplo un metrobus o alguno otro para que así se pueda satisfacer al 100% esta.

En caso de que la demanda de transporte sea menor a la que este medio puede atender nos elevaría el costo, debido a que tendríamos que aportar una mayor cantidad de dinero para poder solventar al cien por ciento los gastos por operación y mantenimiento.

- **A2: Creación de un sistema de transporte tren ligero**

El tren ligero de la ciudad de México tiene en promedio una demanda cerca de 370,000 usuarios al día, lo cual a pesar de tener una demanda menor al metro nos indica que es apropiado construirlo en zonas donde la concurrencia de personas sea alta, debido a que este sistema es medianamente costoso.

Por otro lado si la demanda es mayor a la demanda que atiende este medio de transporte se generaría un costo mayor ya que se tendría que invertir en la posibilidad de construir un sistema de transporte auxilia por ejemplo un metrobus o alguno otro para que así se pueda satisfacer al 100% esta.

En caso de que la demanda de transporte sea menor a la que este medio puede atender nos elevaría el costo, debido a que tendríamos que aportar una mayor cantidad de dinero para poder solventar al cien por ciento los gastos por operación y mantenimiento.

- **A3: Creación de un sistema de transporte metrobus**

El metrobus de la ciudad de México a pesar de que día a día lidia con el tráfico de esta gran urbe aun cuando cuenta con un carril exclusivo, tiene en promedio una demanda cerca de 360,000 usuarios al día, lo cual nos indica que es apropiado construirlo en zonas donde la concurrencia de personas al igual que el metro y el tren ligero sea alta, pero en comparación con los otros dos sistemas de transporte mencionados este tiene un menor costo de construcción, operación y mantenimiento.

Por otro lado si la demanda es mayor a la demanda que atiende este medio de transporte se generaría un costo mayor ya que se tendría que invertir en la posibilidad de construir un sistema de transporte auxilia por ejemplo un metro, un tren ligero o alguno otro para que así se pueda satisfacer al 100% esta.

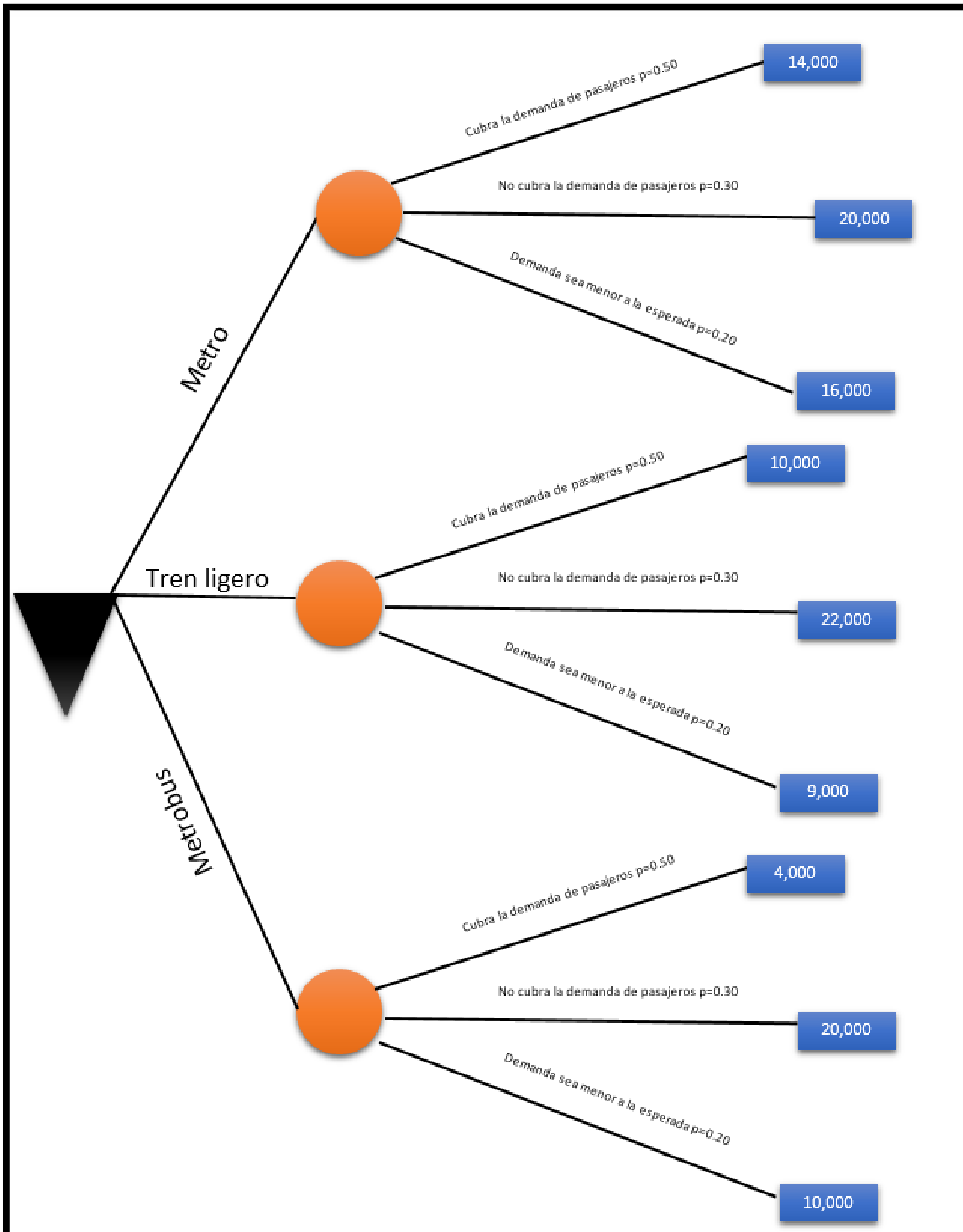
En caso de que la demanda de transporte sea menor a la que este medio puede atender nos elevaría el costo, debido a que tendríamos que aportar una mayor cantidad de dinero para poder solventar al cien por ciento los gastos por operación y mantenimiento. Estos costos incrementarían ya que tendríamos una reducción de carriles en la vía lo que repercutiría mucho en cuanto a movilidad y quejas por parte de las personas que transitan estos lugares.

MODELO MATRICIAL

	Cubra la demanda de pasajeros (P=0.50)	No cubra la demanda de pasajeros (P=0.30)	La demanda sea menor a la esperada (P=0.20)
Metro	14,000	20,000	16,000
Tren ligero	10,000	22,000	9,000
metrobus	4,000	20,000	10,000

Las cantidades indicadas en el modelo matricial representan costos.

DIAGRAMA GRÁFICO O DE ÁRBOL



Las cantidades representan costos por construcción, operación (anual) y mantenimiento (anual) en millones de pesos.

Los datos se obtuvieron de la página oficial del transporte de la ciudad de México considerando el costo por 20 km construidos de vía para cada uno de los tipos de sistemas de transporte.

DOMINANCIA

Analizando la dominancia tenemos que:

Comparando la alternativa 1 y 2

	Cubra la demanda de pasajeros (P=0.50)	No cubra la demanda de pasajeros (P=0.30)	Quede sobrado de acuerdo a la demanda (P=0.20)
Metro	**14,000**	20,000	**16,000**
Tren ligero	10,000	**22,000**	9,000

Comparando la alternativa 1 y 3

	Cubra la demanda de pasajeros (P=0.50)	No cubra la demanda de pasajeros (P=0.30)	La demanda sea menor a la esperada (P=0.20)
Metro	14,000	20,000	16,000
metrobus	4,000	20,000	10,000

Comparando la alternativa 2 y 3

	Cubra la demanda de pasajeros (P=0.50)	No cubra la demanda de pasajeros (P=0.30)	La demanda sea menor a la esperada (P=0.20)
Tren ligero	10,000	22,000	9,000
metrobus	4,000	20,000	10,000

Al realizar la comparación de alternativas ninguna es totalmente superior a otra por lo tanto podemos decir que no existe dominancia.

TOMA DE DECISIONES BAJO CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE

- **Principios Maximin y Minimax.**

En este caso analizaremos nuestro proyecto mediante el concepto MINIMAX ya que estamos hablando de valores los cuales representan costos.

	Cubra la demanda de pasajeros (P=0.50)	No cubra la demanda de pasajeros (P=0.30)	La demanda sea menor a la esperada (P=0.20)
Metro	14,000	20,000	16,000
Tren ligero	10,000	22,000	9,000
metrobus	4,000	20,000	10,000

Método a seguir.

1.-Para cada alternativa seleccione el máximo costo de oportunidad para todos los estados de la naturaleza.

2.-Seleecione la alternativa de decisión que tiene el mínimo costo.

20,000
22,000
20,000

Por lo tanto obtenemos que puede ser la alternativa 1 o la alternativa 3 la mejor.

- **Principios Maximax y Minimin.**

En este caso analizaremos nuestro proyecto mediante el concepto MINIMIN ya que estamos hablando de valores que representan costos.

	Cubra la demanda de pasajeros (P=0.50)	No cubra la demanda de pasajeros (P=0.30)	La demanda sea menor a la esperada (P=0.20)
Metro	14,000	20,000	16,000
Tren ligero	10,000	22,000	9,000
metrobus	4,000	20,000	10,000

Método a seguir.

1.-Para cada alternativa seleccione el mínimo costo de oportunidad para todos los estados de la naturaleza.

2.-Seleecione la alternativa de decisión que tiene el mínimo costo.

14,000
9,000
4,000

Por lo tanto obtenemos que la alternativa 3 metrobus es la mejor.

- **Principio de Hurwics.**

Métodos a seguir.

1.- De la matriz de decisiones se seleccionan el mejor y el peor valor para cada alternativa, dando lugar a un vector de óptimos y a otro de pésimos.

2.- El vector de óptimos se afecta por el índice ß y el vector de pésimos por (1 - ß)

El índice ß varía entre 0 y 1;

- ß = 0 para el caso más pesimista (criterio minimin)
- ß = 1 para el caso más optimista (criterio maximax)
- 0 <= ß => 1 para los casos intermedios.

3.- La suma de los vectores (de óptimos y pésimos) ya ponderados, es el vector de valores esperados. La alternativa seleccionada es aquella que corresponde al máximo valor esperado.

	Cubra la demanda de pasajeros (P=0.50)	**No cubra la demanda de pasajeros (P=0.30)**	**La demanda sea menor a la esperada (P=0.20)**
Metro	14,000	20,000	16,000
Tren ligero	10,000	22,000	9,000
metrobus	4,000	20,000	10,000

Sea ß = 0.80 entonces:

$VE(A_1)=0.80(20,000)+0.20(14000)=18,800$

$VE(A_2)= 0.80(22,000)+0.20(9,000)=$**19,400**

$VE(A_3)= 0.80(20,000)+0.20(4000)=16,800$

Por lo tanto la alternativa más conveniente es la 2.

- **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:

$VE(A_1) = 0.33 (14000) + 0.33(20000) + 0.33(16000) = 4620+6600+5280=$**16,500**

$VE(A_2) = 0.33(10000) + 0.33(22000) + 0.33(9000) =3300+7260+2970=13,530$

$VE(A_3) = 0.33(4000) + 0.33(22000) + 0.33(10000) = 1320+7260+3300=11,880$

La alternativa 1 sería la elegida con este criterio

- **Criterio de Savage, Modelo de Arrepentimiento.**

	Cubra la demanda de pasajeros (P=0.50)	No cubra la demanda de pasajeros (P=0.30)	La demanda sea menor a la esperada (P=0.20)
Metro	14,000	20,000	16,000
Tren ligero	10,000	22,000	9,000
metrobus	4,000	20,000	10,000

	Cubra la demanda de pasajeros (P=0.50)	No cubra la demanda de pasajeros (P=0.30)	La demanda sea menor a la esperada (P=0.20)
Metro	0	22,000-20,000= 2,000	0
Tren ligero	14,000-10,000= 4,000	0	16,000-9,000= 7,000
metrobus	14,000-4,000= 10,000	22,000-20,000= 2000	16,000-10,000= 6000

	Cubra la demanda de pasajeros (P=0.50)	No cubra la demanda de pasajeros (P=0.30)	La demanda sea menor a la esperada (P=0.20)
Metro	0	2,000	0
Tren ligero	4,000	0	7,000
metrobus	10,000	2,000	6,000

2,000
7,000
10,000

El vector de arrepentimientos máximos es $[2000,7000, 10,000]^T$, siendo el valor mínimo aquel que apunta a la alternativa 1, la cual resulta seleccionada como la mejor.

DECISIONES BAJO CONDICIONES DE RIESGO.

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

	Cubra la demanda de pasajeros (P=0.50)	No cubra la demanda de pasajeros (P=0.30)	La demanda sea menor a la esperada (P=0.20)
Metro	14,000	20,000	16,000
Tren ligero	10,000	22,000	9,000
metrobus	4,000	20,000	10,000

Valor esperado

$VEA_1)$=14,000(0.50)+20,000(0.30)+16000(0.20)=7000+6000+3200=16,200

$VE(A_2)$= 10,000(0.50)+22,000(0.30)+9,000(0.20)=5000+6600+1800=13,400

$VE(A_3)$= 4,000(0.50)+20,000(0.30)+10,000(0.20)=2000+6000+2000=10,000

Debido a que los valores representan costos elegimos la opción con VE menor, por lo tanto podemos decir que nuestra alternativa 3 es la mejor.

Varianza

$V(A_1)=0.5(14{,}000-16{,}200)^2+0.3(20{,}000-16{,}200)^2+0.2(10{,}000-16200)^2 =$ **14,440,000**

$V(A_2)= 0.5(10{,}000-13{,}400)^2+0.3(22{,}000-13{,}400)^2+0.2(9{,}000-13400)^2 =31{,}840{,}000$

$V(A_3=0.5(4{,}000-10{,}000)^2+0.3(20{,}000-10{,}000)^2+0.2(9{,}000-10000)^2 =48{,}200.000$

Alternativa 1 es la de menor riesgo

- **Principio del más probable futuro.**

  El estado de la naturaleza con mayor probabilidad de ocurrencia es el 1, con una probabilidad de 0.50. Por lo que la matriz quedaría como:

	Cubra la demanda de pasajeros (P=1)
Metro	14,000
Tren ligero	10,000
metrobus	**4,000**

Bajo este criterio la alternativa que nos generaría un menor costo sería A3 metrobus.

- **Principio del nivel esperado**

Dado que la matriz representa costos, se fija como nivel que el máximo costo que se pueda tener sea de 15,000, por lo que se deberán tomar en cuenta aquellos valores que sean menores a este límite.

	Cubra la demanda de pasajeros (P=0.50)	No cubra la demanda de pasajeros (P=0.30)	La demanda sea menor a la esperada (P=0.20)
Metro	14,000	20,000	16,000
Tren ligero	10,000	22,000	9,000
metrobus	4,000	20,000	10,000

Entonces:

Para A_1
P(utilidad <= 15,000) = $P(E_1)$ = 0.50

Para A_2
P(utilidad <= 15,000) = $P(E_1) + P(E_3)$ = 0.50 + 0.20 = 0.70

Para A3
P(utilidad <= 15,000) = $P(E_1) + P(E_3)$ = 0.50 + 0.20 = 0.70

De acuerdo a este principio, tanto la alternativa 2 tren ligero como la 3 metrobus son igualmente preferibles, al tener la mayor probabilidad y misma para ambos casos asegura alcanzar máximo un costo de 15,000.

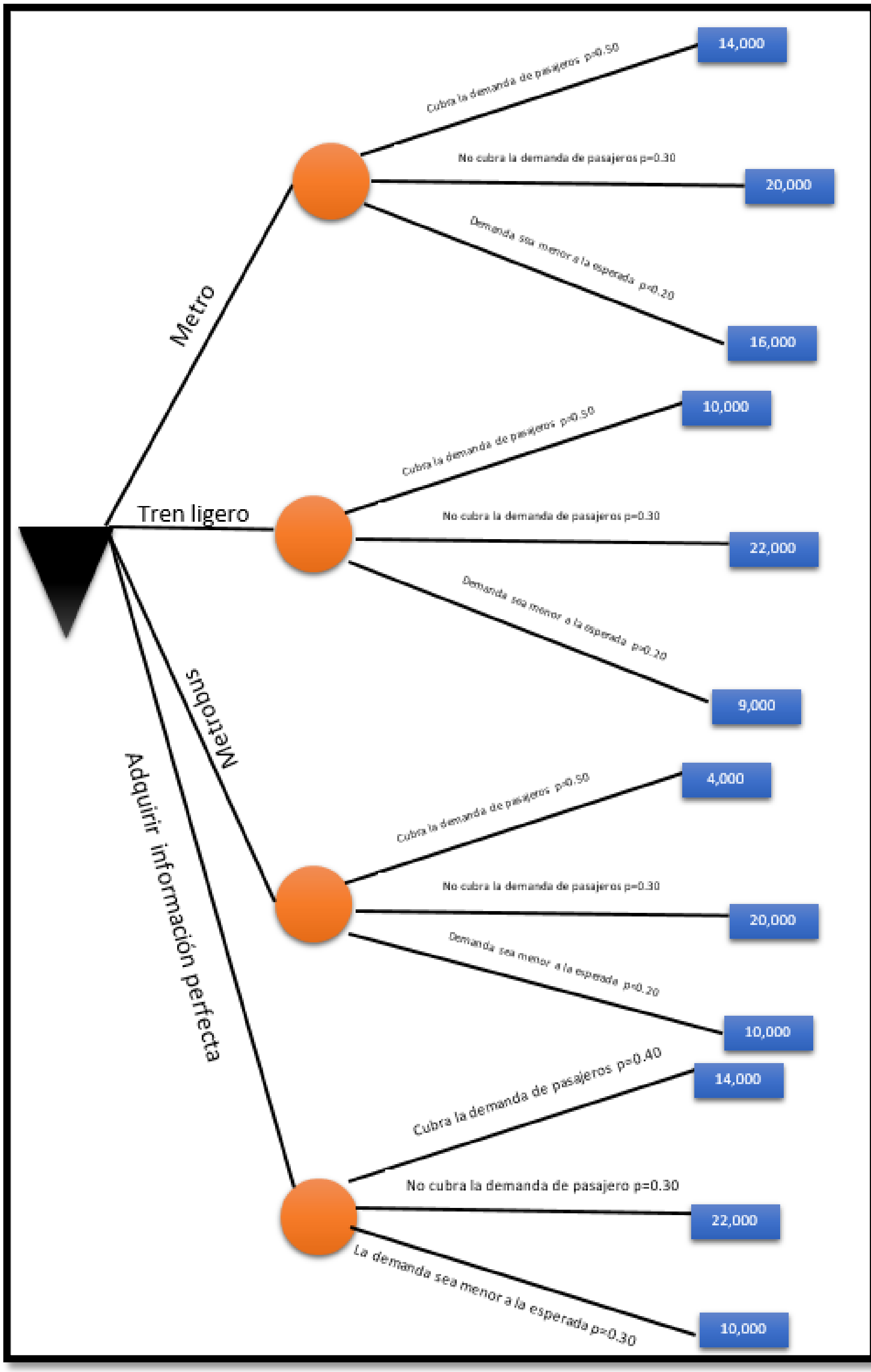
VALOR DE LA INFORMACION EN LAS DECISIONES

Surge la necesidad de analizar si sería acertado consultar a una empresa investigadora de flujo de personas, para que determine, mediante una encuesta a algunos usuarios de la zona en que se trazara la ruta, si estarían dispuestos a utilizar el sistema de transporte público para viajar de un lugar a otro.

En este caso el estudio lo realizo el **INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN SOBRE MIGRACIONES, ETNICIDAD Y DESARROLLO SOCIAL.** Página electrónica (https://www.uam.es/otroscentros/imedes/).

- ## **INFORMACIÓN PERFECTA**

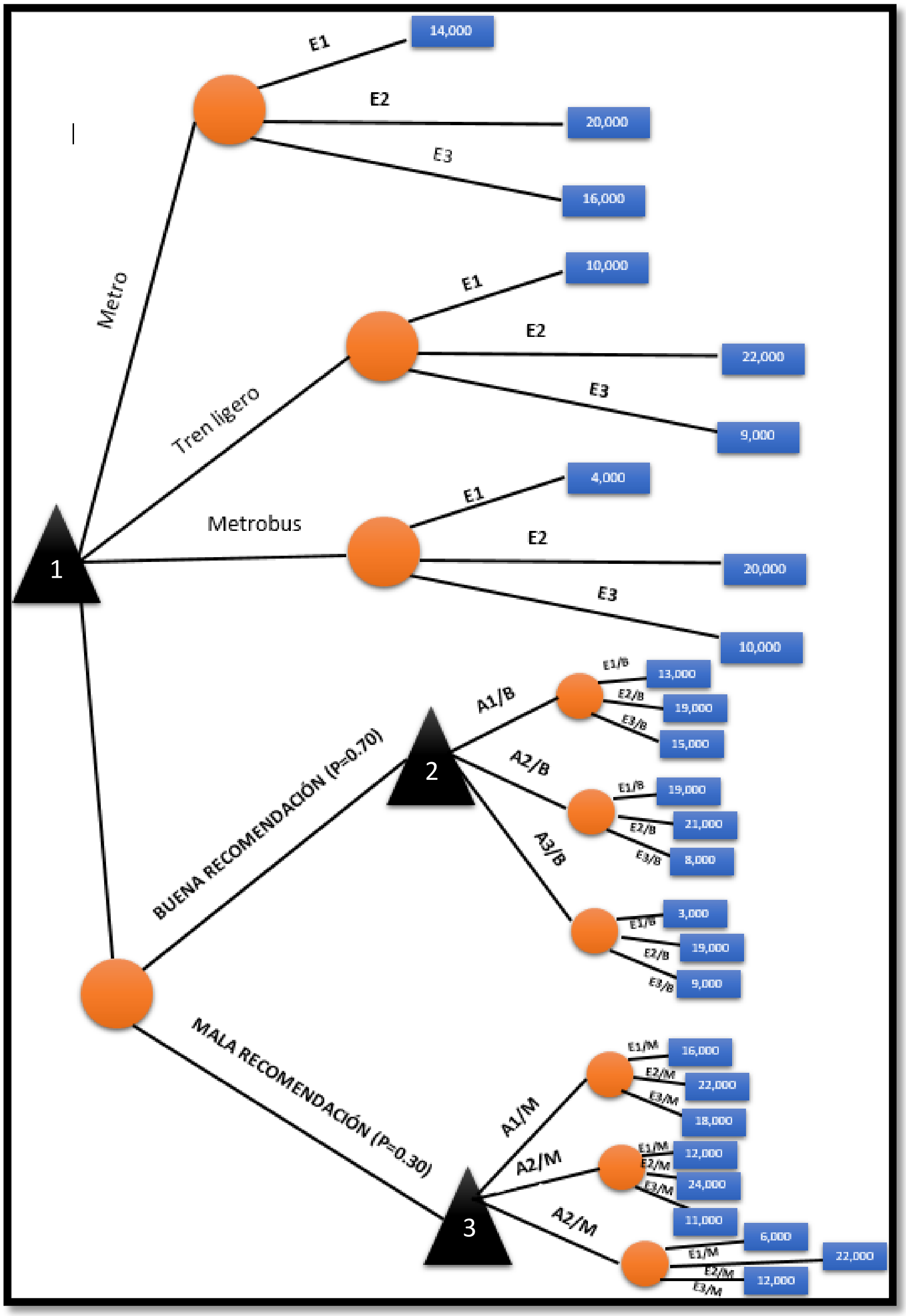
Con objeto de contar primero con una idea del valor más alto que podría pagarse por esa información adicional, es conveniente evaluar el problema de decisión bajo la suposición que una predicción perfecta o infalible, fuera hecha.



VE/IP= 0.40 (4000) + 0.30 (20000) + 0.20 (9000) = 9,400
VE (IP) = VE/ID – VE/IP = 10,000 – 1186.25 = 8,813.75

La cota superior es de 8,813.75 millones de pesos, el cual es el precio que se podrá pagar como máximo por la información adicional adquirida

- **INFORMACIÓN IMPERFECTA**



Se asignaron las siguientes probabilidades condicionales subjetivamente.

P (B/E_1) = 0.8	**P (B/E_2) = 0.7**	**P (B/E_3) = 0.6**	
P (M /E_1) = 0.2	P (M /E_2) = 0.3	P (M /E_3) = 0.4	

P(B) = P(B/E1) P(E1) + P(B/E2) P(E2)+ P(B/E3) P(E3)

P(B) = (0.8 x 0.5)+(0.7 x 0.3)+(0.6 x 0.2)=0.73

P(M) = P(M/E1) P(E1) + P(M/E2) P(E2)+ P(M/E3) P(E3)

P(M)=(0.2 x 0.5) + (0.3 x 0.3)+(0.4 x 0.2) =0.27

Cálculo de las probabilidades condicionales:

P(E1/B) = [P(B/E1) P(E1)]/ P(B) = 0.54

y así de igual manera se calcularon las siguientes probabilidades condicionales:

P(E1/M) =0.37

P(E2/B) = 0.28

P(E2/M) = 0.33

P(E3/B) = 0.16

P(E3/M) = 0.29

Al resolver el árbol de decisiones tenemos que aplicar el valor esperado en los nodos más distantes y acercarse hasta el nodo raíz

Para el nodo de decisión D3:

VE(A1) = 0.37(16,000) +0.33 (22,000) +0.29(18,000)= 18,400

VE(A2) = 0.37(12,000) +0.33 (24,000) +0.29(11,000)=15,550

VE(A3) = 0.37(6,000) +0.33 (22,000) +0.29(12,000)=**12,960**

Para el nodo de decisión D2:

VE(A1) = 0.54(13,000) +0.28 (19,000) +0.16(15,000)=14,740

VE(A2) = 0.54(19,000) +0.28 (21,000) +0.16(8,000)=17,420

VE(A3) = 0.54(3,000) +0.28 (19,000) +0.16(9,000)=**8,380**

Para el nodo de decisión D1:

VE(A1)=14,000(0.50)+20,000(0.30)+16000(0.20)=7000+6000+3200=16,200

VE(A2)= 10,000(0.50)+22,000(0.30)+9,000(0.20)=5000+6600+1800=13,400

VE(A3)= 4,000(0.50)+20,000(0.30)+10,000(0.20)=2000+6000+2000=**10,000**

VE(CON INFORMACION)=(0.73 x 8380)+(0.27 x 12960) =**9616.6**

VE(SIN INFORMACION)=**10,000**

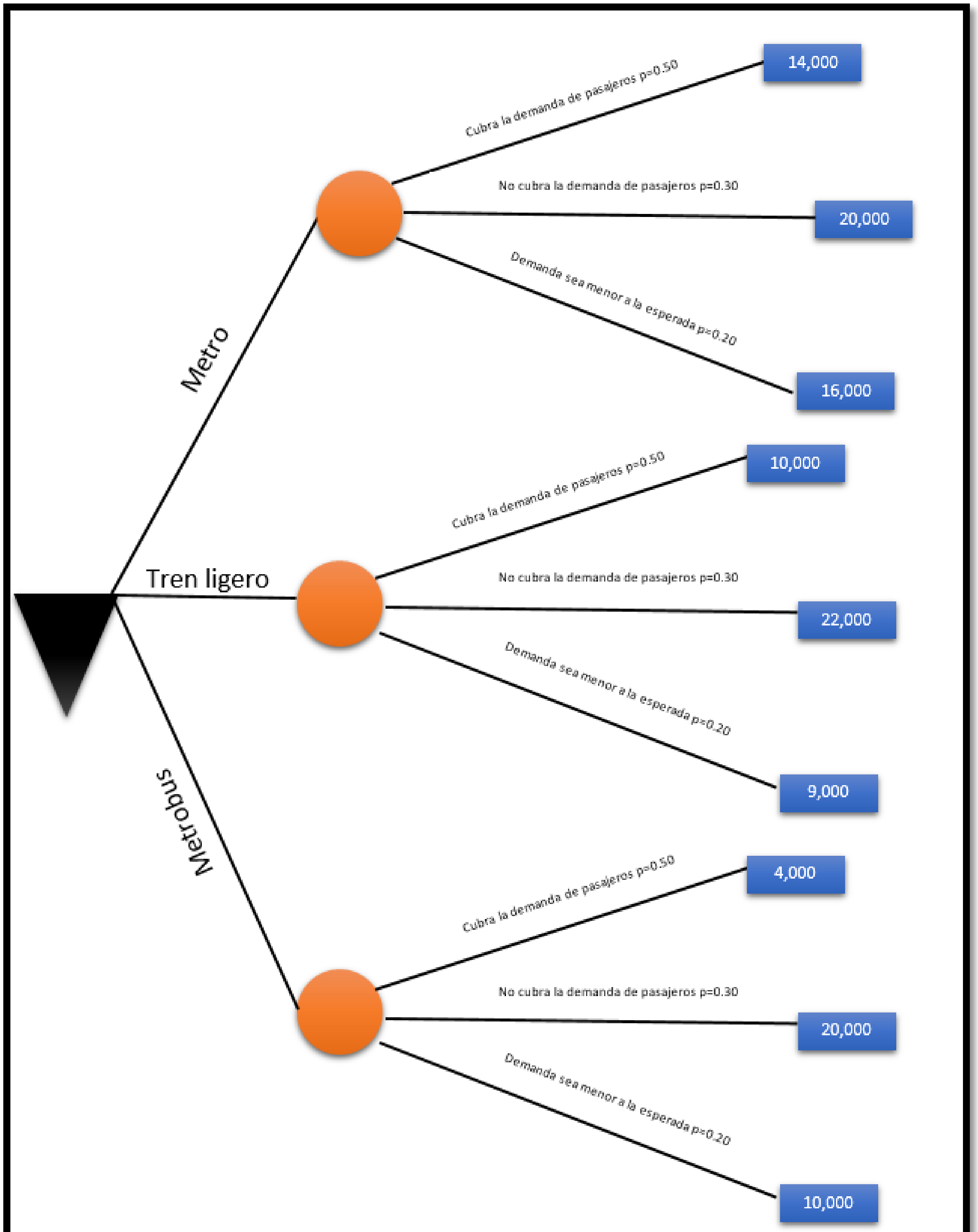
Por lo tanto si es conveniente adquirir esta información por un valor de:

Valor información imperfecta= 10,000-9616.6=383.4

ENFOQUE DE UTILIDAD EN LAS DECICIONES

CONSTRUCCION DE CURVAS DE UTILIDAD

- **Método: cuestionando probabilidades**



Para iniciar con la construcción de nuestra curva de utilidad, se sabe que a partir del árbol de decisiones:

X° $\longrightarrow$ Representa nuestro peor valor o resultado, es decir, el costo más alto

X°=22,000

X* $\longrightarrow$ Representa nuestro mejor valor o resultado, es decir. El costo más bajo

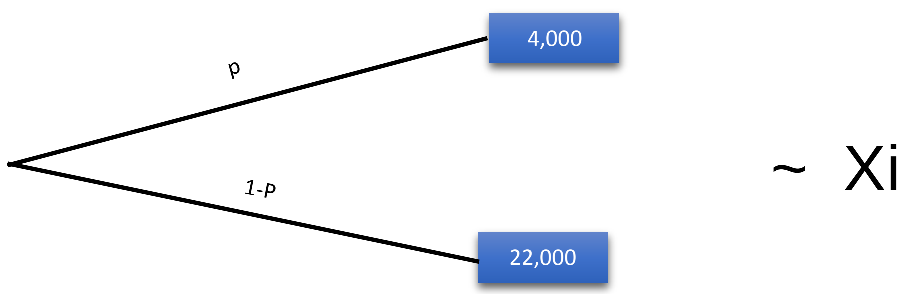
X*=4,000

Por lo tanto:

U(x°)=u(22,000)=0

U(x*)=u(4,000)=1

Posteriormente se comienza a cuestionar sobre las probabilidades de diferentes valores xi, de tal manera que las distintas loterías sean indiferentes:



- Para un valor de xi=8,500, p=0.9

Haciendo el análisis para transformar a valor utilitario:

U (8,500)= p u (4000) + (1-p) u (22,000)= 0.9 (1) + 0.1 (0)=0.9

- Para un valor de xi=13,000, p=0.8

Haciendo el análisis para transformar a valor utilitario:

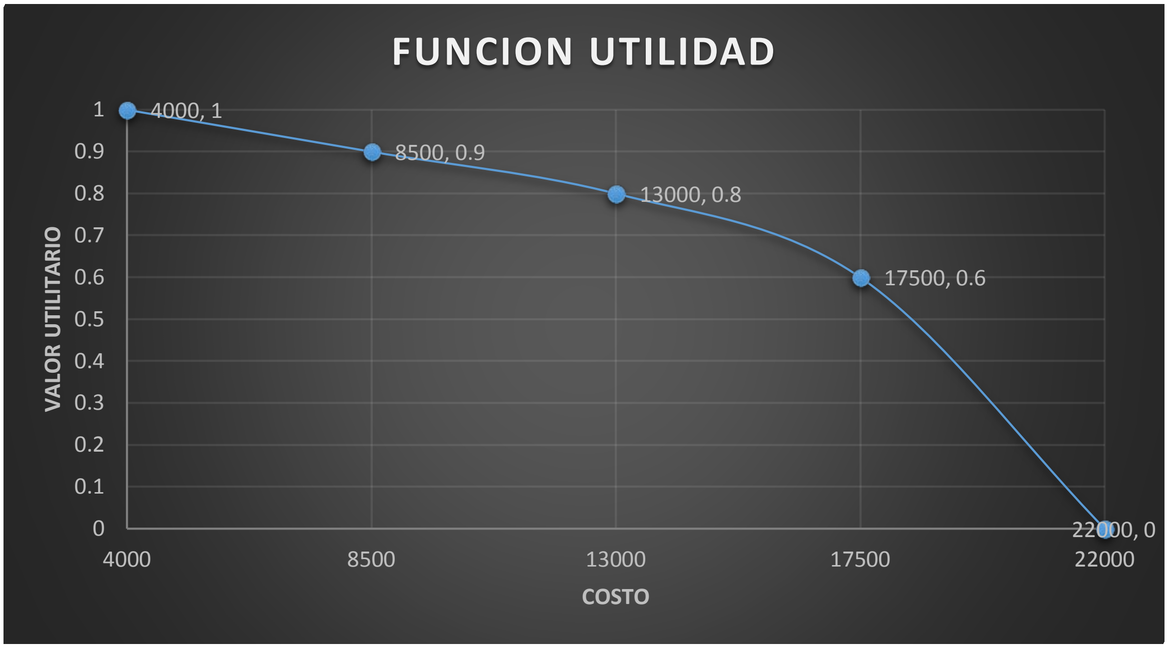
U (13,000)= p u (4000) + (1-p) u (22,000)= 0.8 (1) + 0.2 (0)=0.8

- Para un valor de xi=17500,000, p=0.6

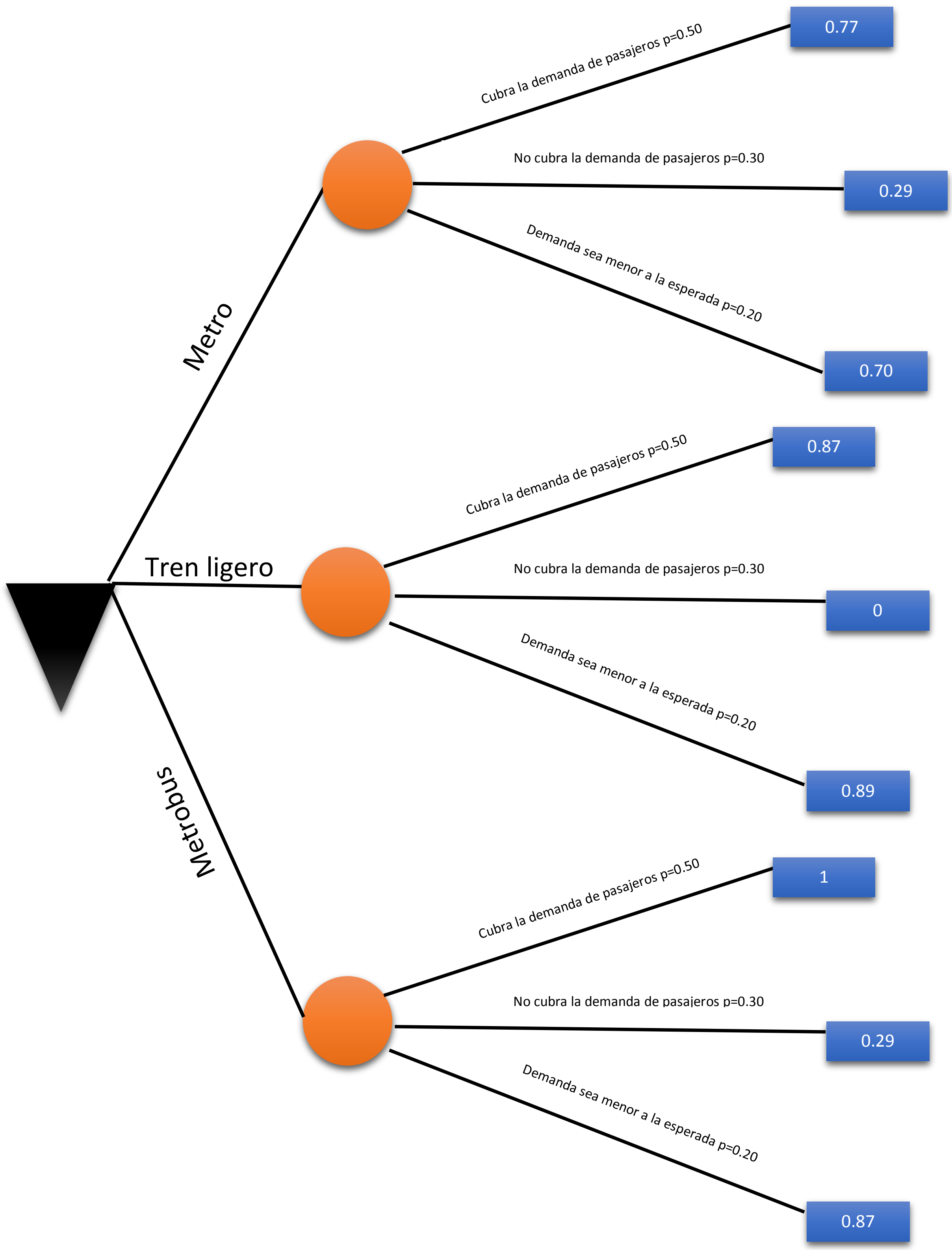
Haciendo el análisis para transformar a valor utilitario:

U (17,500)= p u (4000) + (1-p) u (22,000)= 0.6 (1) + 0.4 (0)=0.6

Con los cinco puntos obtenidos es posible trazar la gráfica o curva de utilidad:



Modelo de árbol de decisiones con valor utilitario



Se calcula el valor utilitario esperado para cada alternativa con el nuevo esquema:

VUE (A1)= (0.50*0.77) + (0.30*0.29) + (0.20*0.70)=0.612

VUE (A2)= (0.50*0.87) + (0.30*0) + (0.20*0.89)=0.613

VUE (A3)= (0.50*1) + (0.30*0.29) + (0.20*0.87)=**0.761**

Se elige la alternativa 3, debido a que representa el mayor valor utilitario para el objetivo que nos hemos planteado para minimizar el costo.

- **Método: cuestionando equivalentes bajo certeza (EBC)**

Para iniciar con la construcción de nuestra curva de utilidad, se sabe que a partir del árbol de decisiones:

X° → Representa nuestro peor valor o resultado, es decir, el costo más alto

X°=22,000

X* → Representa nuestro mejor valor o resultado, es decir. El costo más bajo

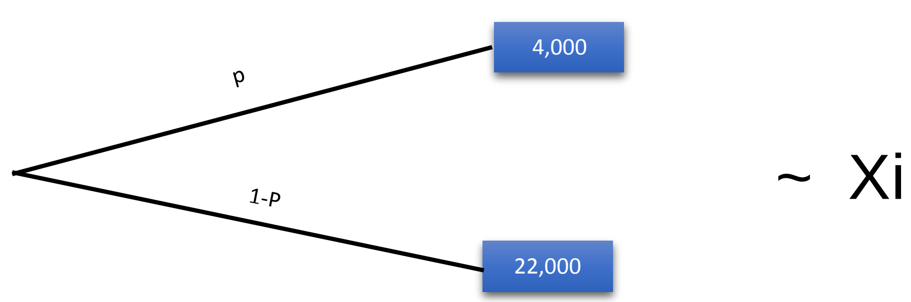
X*=4,000

Por lo tanto:

U(x°)=u (22,000)=0

U(x*)=u (4,000)=1

Se cuestiona sobre los valores de Xi o EBC con diferentes probabilidades ya presentadas, de tal manera que las distintas loterías sean indiferentes



- Para un valor de xi=8,000, p=0.8

Haciendo el análisis para transformar a valor utilitario:

U (8,000)= p u (4000) + (1-p) u (22,000)= 0.9 (1) + 0.1 (0)=0.8

- Para un valor de xi=13,000, p=0.7

Haciendo el análisis para transformar a valor utilitario:

U (13,000)= p u (4000) + (1-p) u (22,000)= 0.8 (1) + 0.2 (0)=0.7

- Para un valor de xi=17500,000, p=0.6

Haciendo el análisis para transformar a valor utilitario:

U (17,500)= p u (4000) + (1-p) u (22,000)= 0.6 (1) + 0.4 (0)=0.6

DECISIONES CON MULTIOBJETIVOS

A partir de ahora se definen nuevos criterios u objetivos para nuestro proyecto, los cuales ayudaran a tomar una mejor decisión y que den beneficios para otras áreas o aspectos.

Serán tres en total, considerando al costo, el cual ya se contemplaba anteriormente y se añadirán a cada una de las alternativas:

X1=costo de la obra (millones de pesos)

X2=tiempo para terminar la obra (días)

X3=impacto en áreas verdes (m^2)

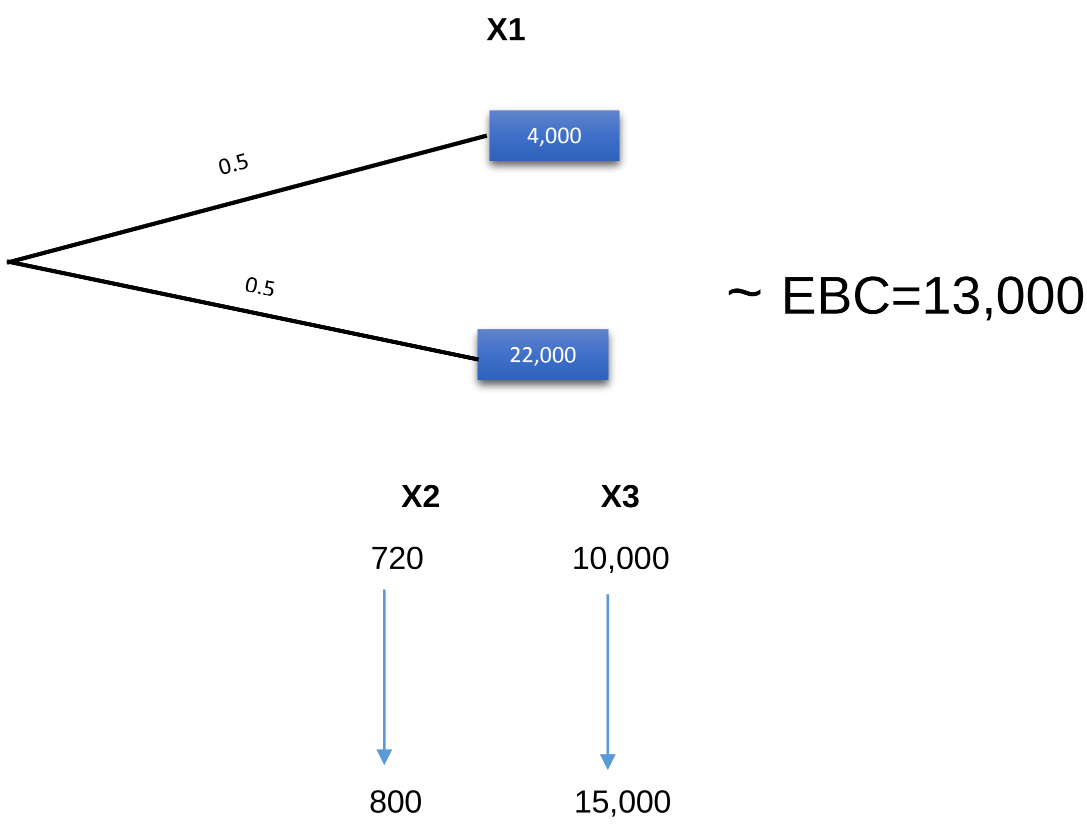
El tiempo se vuelve importante, debido a que se cuenta con un plazo de entrega de la obra debido a cuestiones políticas.

El impacto ambiental es de gran importancia debido a que actualmente tenemos altos índices de contaminación que se están presentando actualmente en la ciudad de México, por lo que la comunidad exige menos deforestación y mayores áreas verdes.

Independencia entre los objetivos

Para comprobar la separabilidad de la función de utilidad conjunta para nuestros tres objetivos, se utilizara el teorema para la condición de mutua independencia de utilidad.

Primero se comprueba la independencia de utilidad para el objetivo X1 con niveles fijos de X2 y X3 para la siguiente lotería:



Al cuestionarse sobre la lotería del mejor y peor costo para la obra y teniendo probabilidad del 50 % para cada una, se fijó un equivalente bajo certeza de 13,000 millones de pesos con X2 y X3 como niveles fijos en 720 y 10,0000 respectivamente.

Posteriormente se fijaron nuevos niveles de X2 y X3 en 800 y 15,000 respectivamente y al cuestionarse sobre EBC, resulto ser el mismo de 1250 millones de pesos, es decir que no afecto en nada los otros cambios por ser el costo el objetivo más privilegiado, comprobando así, que **x1 es independientemente utilitario.**

Independencia preferencial.

A continuación, se probará la independencia preferencial de los pares (X1, X2) y (X1, X3) obedeciendo al teorema para la separabilidad.

Con el siguiente planteamiento muy parecido al de utilidad, se proponen los siguientes valores:

X1=COSTO	4,0000	22,000
X2=TIEMPO	720	800
NIVELES FIJOS DE X3	10,000	15,000

X1=costo (millones de pesos)

X2=tiempo (días)

X3=impacto áreas verdes (m^2)

Para nuestro caso, el costo que se tendrá que pagar por el tiempo en que se terminará la obra no afecta en nada o es independiente del impacto a las áreas verdes, ya sea de 10,000 m2, como se marca en negro o de 20,000, el cual es el segundo nivel fijo propuesto, lo anterior debido a que se cuenta con un presupuesto muy limitado y el tiempo es primordial. Por lo tanto, se considera que (X1, X2) es preferencialmente independiente.

Por último, para X1 y X3:

X1=COSTO	4,0000	22,000
X3=IMPACTO ÁREAS VERDES	10,000	15,000
NIVELES FIJOS DE X2	720	800

X1=costo (millones de pesos)

X2=tiempo (días)

X3=impacto áreas verdes (m^2)

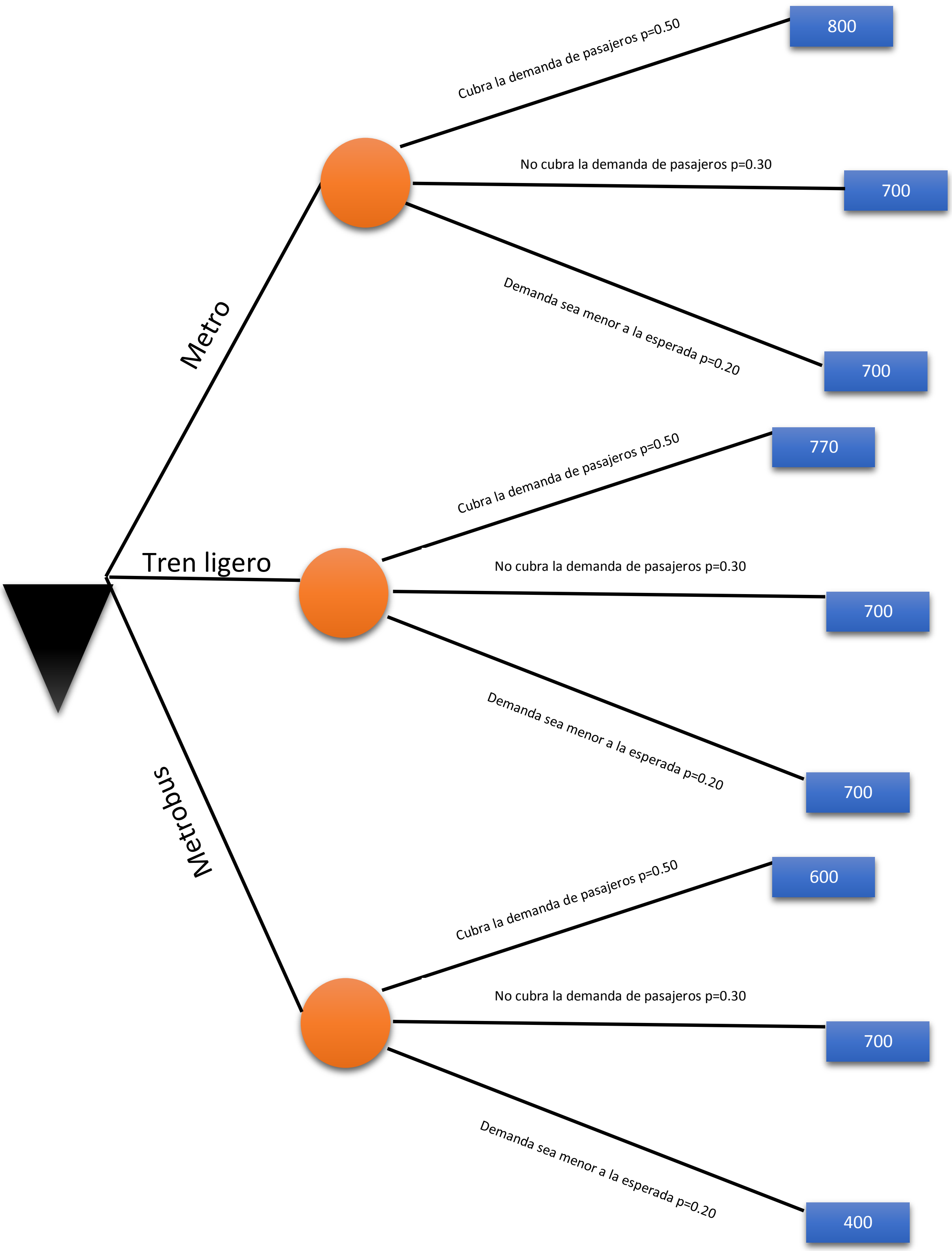
La negociación entre los parámetros del costo y el impacto ambiental son independientes de los niveles fijos de la duración del proyecto, ya sea a 720 días o a 800 días, como se propuso en la tabla, por lo tanto, se considera que **(X_1, X_3) es preferencialmente independiente**

Finalmente se cumplen las condiciones mínimas de **independencia utilitaria mutua de (X_1, X_2, X_3)** y nuestra función **U (X_1, X_2, X_3)** puede ser separada en **forma multiplicativa**.

Construcción de curvas de utilidad de los objetivos restantes (X2, X3)

- **Método "cuestionando probabilidades". (X2)**

Para el objetivo X2 que se refiere al término de la obra en días, se obtuvo a partir de análisis el siguiente árbol de decisiones:



Para iniciar con la construcción de nuestra curva de utilidad, se sabe que a partir del árbol de decisiones:

X° → Representa nuestro peor valor o resultado, es decir, el tiempo más largo

X°=800

X* → Representa nuestro mejor valor o resultado, es decir. el tiempo más corto

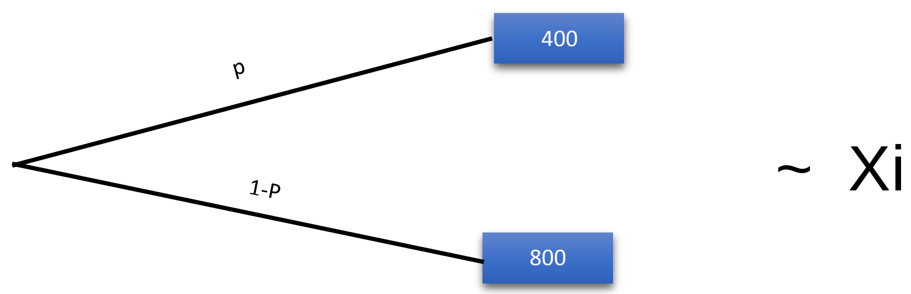
X*=400

Por lo tanto:

U(x°)=u(800)=0

U(x*)=u(400)=1

Posteriormente se comienza a cuestionar sobre las probabilidades de diferentes valores xi, de tal manera que las distintas loterías sean indiferentes:



- Para un valor de xi=500, p=0.8

Haciendo el análisis para transformar a valor utilitario:

U (500)= p u (400) + (1-p) u (800)= 0.8 (1) + 0.2 (0)=0.8

- Para un valor de xi=600, p=0.7

Haciendo el análisis para transformar a valor utilitario:

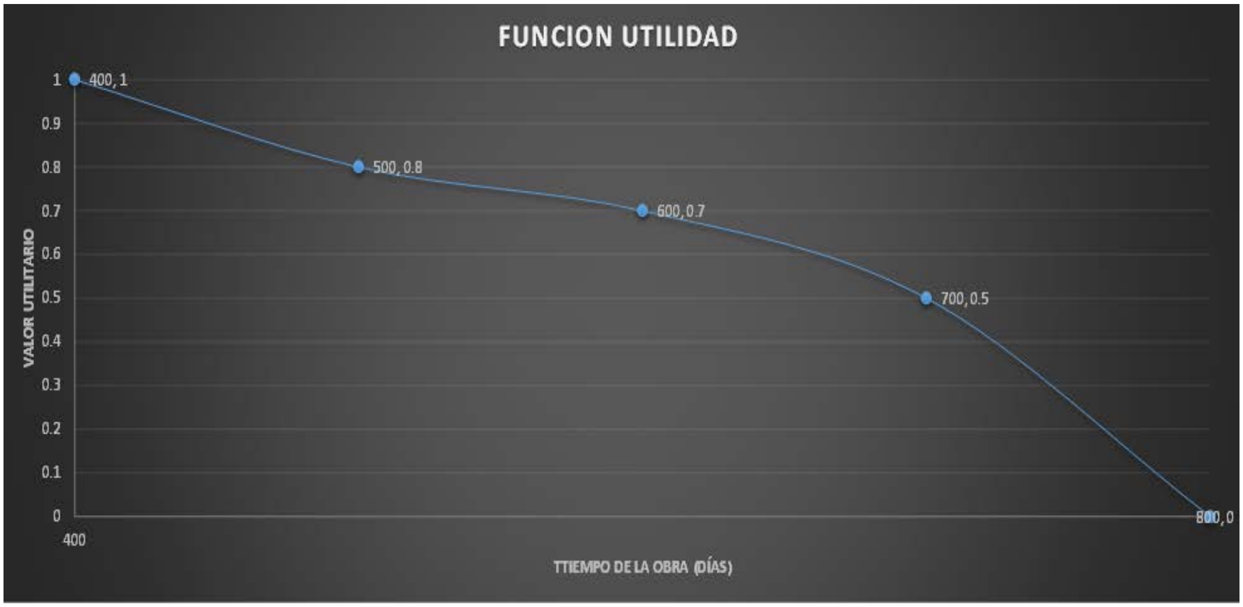
U (600)= p u (400) + (1-p) u (800)= 0.7 (1) + 0.3 (0)=0.7

- Para un valor de xi=700, p=0.5

Haciendo el análisis para transformar a valor utilitario:

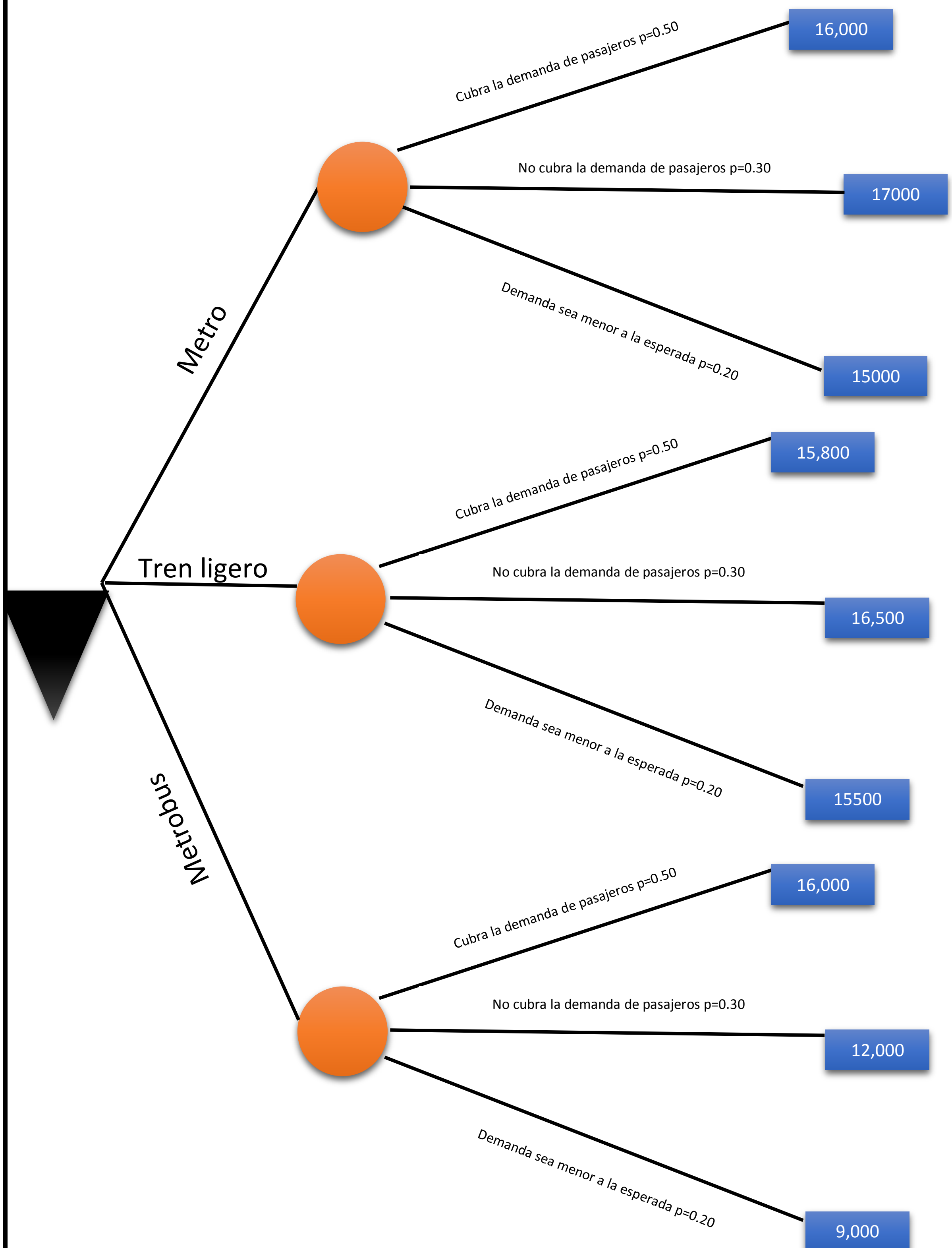
U (700)= p u (400) + (1-p) u (800)= 0.5 (1) + 0.5 (0)=0.5

Con los cinco puntos obtenidos es posible trazar la gráfica o curva de utilidad:



- **Método “cuestionando probabilidades”. (X3)**

Para el objetivo X3 que se refiere al impacto en áreas verdes en metros cuadrados, se obtuvo a partir de análisis el siguiente árbol de decisiones:



Para iniciar con la construcción de nuestra curva de utilidad, se sabe que a partir del árbol de decisiones original:

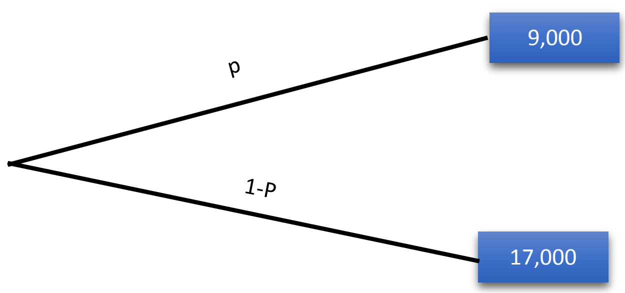
X^o → Representa nuestro peor valor o resultado, es decir, el impacto menor X^o = 9,000 m^2

X^* → Representa nuestro mejor valor o resultado, es decir, el impacto mayor X^* = 17,000 m^2

Por lo tanto: $U(X^o) = U\ (17{,}000) = 0$

$U(X^*) = U\ (9{,}000) = 1$

Posteriormente se empieza a cuestionar sobre las probabilidades de diferentes valores de X_i, de tal manera que las distintas loterías sean indiferentes:



~ Xi

Para un valor de $\mathbf{X_i = 11000,\ P = 0.8}$

Haciendo el análisis para transformar a valor utilitario:

$$\mathbf{U\ (11000) = P\ U\ (9000) + (1 - P)\ U\ (17000) = 0.8(1) + 0.2(0) = 0.8}$$

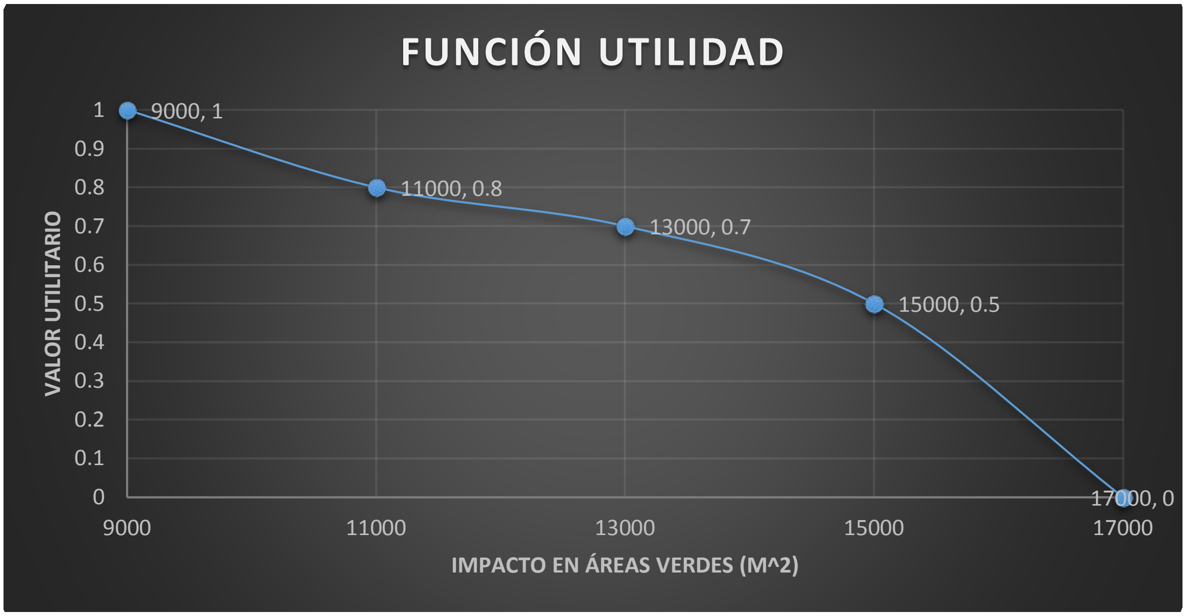
Para un valor de $\mathbf{X_i = 13000,\ P = 0.7}$

$$\mathbf{U\ (13000) = P\ U\ (9000) + (1 - P)\ U\ (17000) = 0.7(1) + 0.3(0) = 0.7}$$

Para un valor de $\mathbf{X_i = 15000,\ P = 0.5}$

U (15000) = P U (9000) + (1 – P) U (17000) = 0.5(1) + 0.5(0) = 0.5

Con los cinco puntos obtenidos es posible trazar la gráfica o curva de utilidad:



ANÁLISIS CON MULTIOBJETIVOS.

Debido a que se determinó que nuestra función de multiobjetivos era separable en **forma multiplicativa**, se tiene la siguiente fórmula:

$$U(X_1, X_2, X_3) = \frac{\{\prod_{i=1}^{n}[1 + Kk_i U(X_i)]\} - 1}{K}$$

A continuación, se calculan las $\mathbf{k_i}$:

Sabemos que:

(X1°, X2°, X3°) → Representan nuestros peores valores o resultados, es decir, el costo más alto, el tiempo más largo y el mayor impacto en áreas verdes.

X1°=22,000

X2°=800

X3°=17,000

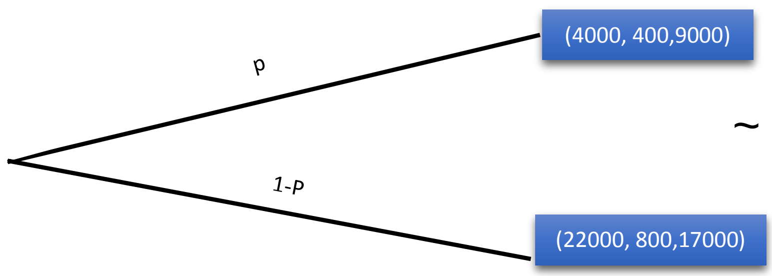
(X1*, X2*, X3*) → Representan nuestros mejores valores o resultados, es decir, el costo más bajo, el tiempo más corto y el menor impacto en áreas verdes.

$$X1^* = 4{,}000$$

$$X2^* = 400$$

$$X3^* = 9{,}000$$

Con apoyo de la siguiente lotería, nos cuestionamos la siguiente probabilidad para saber el peso que tendrá el objetivo del costo (**k_1**):



~ (4000, 800,17000)

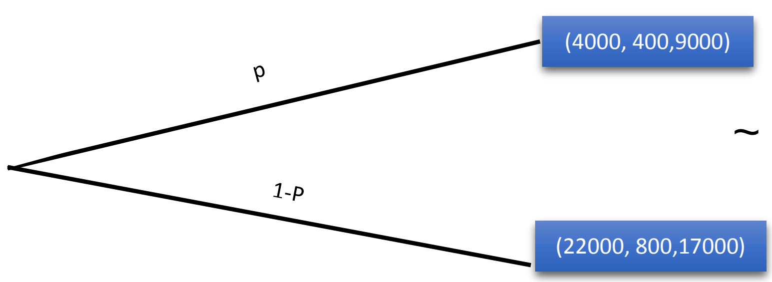
Como p=0.6, se realiza el siguiente cálculo:

P U (4000, 400,9000) + (1 – P) U (22000, 800,17000) = U (4000, 800,17000)

$$P = k_1\, U(4000) = k_1$$

$$k_1 = 0.6$$

Con apoyo de la siguiente lotería, nos cuestionamos la siguiente probabilidad para saber el peso que tendrá el objetivo del tiempo (**k_2**):



~ (22000, 400,17000)

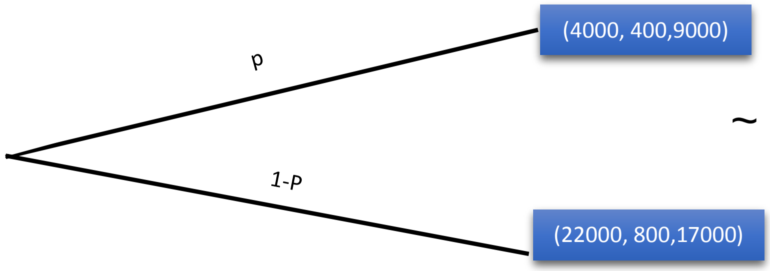
Como P = 0.4, se realiza el siguiente cálculo:

P U (4000, 400,9000) + (1 – P) U (22000, 800,17000) = U (22000, 400,17000)

$$P = k_2\, U(400) = k_2$$

$$k_2 = 0.4$$

Con apoyo de la siguiente lotería, nos cuestionamos la siguiente probabilidad para saber el peso que tendrá el objetivo del tiempo (**k_3**):



~ (22000, 800,9000)

Como P = 0.3, se realiza el siguiente cálculo:

P U (4000, 400,9000) + (1 – P) U (22000, 800,17000) = U (22000, 800,9000)

$$P = k_3 \, U(9000) = k_3$$

$$k_3 = 0.3$$

Posteriormente, con ayuda de las probabilidades y de las gráficas de distribución de cada objetivo, se suponen los siguientes valores para obtener las U(Xi) de la fórmula de separabilidad en forma multiplicativa:

Para la ALTERNATIVA 1 con P=k1=0.6

U (X1) = 20,000

U (X2) = 725

U (X3) = 14,100

Para la ALTERNATIVA 2 con P=k2=0.4

U (X1) = 15,000

U (X2) = 650

U (X3) = 14,500

Para la ALTERNATIVA 3 con P=k3=0.3

U (X1) = 11,000

U (X2) = 550

U (X3) = 15,050

Se hace la evaluación para los mejores valores para obtener K a partir de la fórmula inicial:

1+ K U (4000,400,9000) = [1+K (0.6) U (4000)] * [1+K (0.4) U (400)] * [1+K (0.3) U (9000)]

$$1+ K = [1+ 0.6 K] * [1+ 0.4 K] * [1+ 0.3 K]$$

Se calcula al tanteo hasta que se cumpla la igualdad:

Como k1 + k2 + k3 = 0.6 + 0.4 + 0.3 = 1.3 > 1; -1 < K < 0

Para K = - 0.5

1+ (-0.5) = [1+ 0.6 (-0.5)] * [1+ 0.4 (-0.5)] * [1+ 0.3 (-0.5)]

0.5 = 0.476

Para K = - 0.6

1+ (-0.6) = [1+ 0.6 (-0.6)] * [1+ 0.4 (-0.6)] * [1+ 0.3 (-0.6)]

0.4 = 0.39

Para K = - 0.604

1+ (-0.604) = [1+ 0.6 (-0.604)] * [1+ 0.4 (-0.604)] * [1+ 0.3 (-0.604)]

0.396 = 0.396

Por lo tanto, se cumple igualdad

K = -0.604

Finalmente se calcula la utilidad para cada alternativa considerando todos los objetivos:

ALTERNATIVA 1:

1+ K U (20000, 725, 14100) = [1+K (0.6) U (20,000)] * [1+K (0.4) U (725)] * [1+K (0.3) U (14100)]

Con ayuda de las gráficas de utilidad anteriores de los diferentes objetivos, se obtienen los siguientes valores:

U (20000) = 0.29

U (725) = 0.4

U (14100) = 0.62

Sustituyendo todos los datos:

1+ (-0.604) U (20000, 725, 14100) = [1+ (-0.604) (0.6) (0.29)] * [1+ (-0.604) (0.4) (0.4)] * [1+ (-0.604) (0.3) (0.62)]

1+ (-0.604) U (20000, 725, 14100) = 0.7175

U (20000,725,14100) = 0.4677

ALTERNATIVA 2:

1+ K U (15000, 650, 14500) = [1+K (0.6) U (15000)] * [1+K (0.4) U (650)] * [1+K (0.3) U (14500)]

Con ayuda de las gráficas de utilidad anteriores de los diferentes objetivos, se obtienen los siguientes valores:

U (15000) = 0.74

U (650) = 0.62

U (14500) = 0.53

Sustituyendo todos los datos:

$$1+ (-0.604)\ U\ (15000, 650, 14500) = [1+ (-0.604)\ (0.6)\ (0.74)] * [1+ (-0.604)\ (0.4)\ (0.62)] * [1+ (-0.604)\ (0.3)\ (0.53)]$$

$$1+ (-0.604)\ U\ (15000, 650, 14500) = 0.5624$$

U (15000,650,14500) = 0.7245

ALTERNATIVA 3:

$$1+ K\ U\ (11000, 550, 15050) = [1+K\ (0.6)\ U\ (11000)] * [1+K\ (0.4)\ U\ (550)] * [1+K\ (0.3)\ U\ (15050)]$$

Con ayuda de las gráficas de utilidad anteriores de los diferentes objetivos, se obtienen los siguientes valores:

$$U\ (11000) = 0.85$$

$$U\ (550) = 0.75$$

$$U\ (15050) = 0.595$$

Sustituyendo todos los datos:

1+ (-0.604) U (11000, 550,15050) = [1+ (-0.604) (0.6) (0.85)] * [1+ (-0.604) (0.4) (0.75)] * [1+ (-0.604) (0.3) (0.595)]

1+ (-0.604) U (11000, 550,15050) = 0.5054

U (11000, 550,15050) = 0.8188

CONCLUSIÓN FINAL DE MULTIOBJETIVOS.

De acuerdo a todo el análisis realizado anteriormente se concluye que la ALTERNATIVA 3 es la que se elegirá, debido a que con ella se obtendrá la mayor utilidad o beneficios (0.8188) sin perder de vista el nivel de importancia de cada uno de los objetivos planteados

La alternativa 3 se refiere a la construcción de una vía de metrobus.