

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

Elaborado por:

Balderas Pérez Leonardo Isaac

Bonilla Chávez Javier Alfonso

Ingeniería de Sistemas

Grupo 4

Dr. Juan Antonio del Valle Flores

Proyecto Final.

Paso Exprés Cuernavaca.

Semestre 2016-2

Fecha de entrega: 26 de mayo del 2016

***Tabla de contenido.**

Situación Problema No Estructurada.....	2
Elementos del Problema.....	6
Modelos del problema de Toma de Decisiones.....	9
Toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre.....	10
Toma de decisiones bajo condiciones de riesgo.....	14
Valor de la información en las decisiones.....	18
Enfoque de utilidad en las decisiones.....	24
Decisiones con multiobjetivos.....	31

*Situación Problema No Estructurada.

Los elementos que participan en el sistema son los siguientes:

*Infraestructura [Libramiento de Cuernavaca (Autopista México-Acapulco) conformado por 4 carriles (2 por sentido)].

*Gobierno Federal y Gobierno del Estado de Morelos.

*Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT] (Gobierno Federal) y Secretaría de Obras Públicas [SOP] (Estado de Morelos).

*Usuarios

*Transporte Público

*Operadores de vía

*Dinero

*Servicio de calidad de vía

*Presupuesto

*Tiempo

*Poca fluidez vehicular

*Altas emisiones de gases nocivos al ambiente

*Mucho ruido a los alrededores

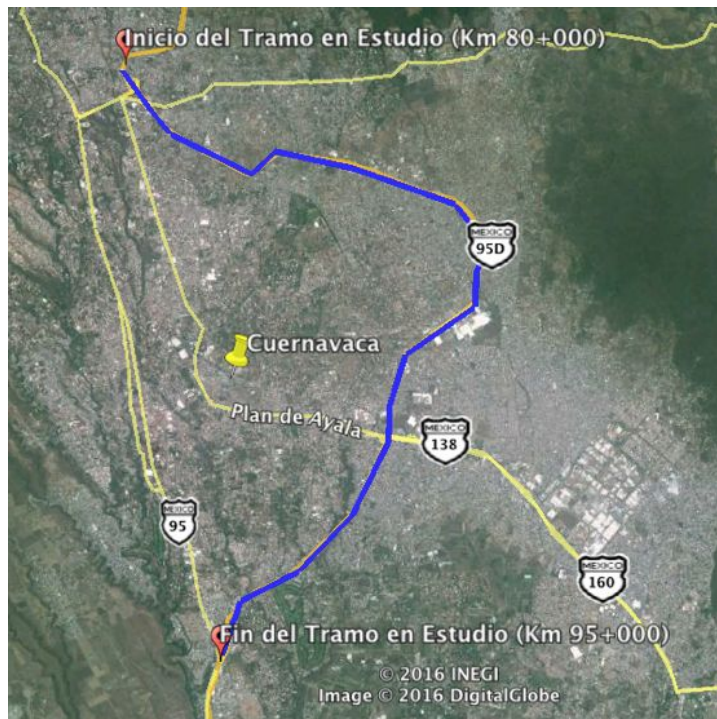
*Demasiada inversión en tiempos de traslado

*Mayor consumo de combustible

*Accidentes entre usuarios

El tramo correspondiente a la zona de estudio comprende del KM 88+000 al KM 95+000 del entronque "La Paloma" al entronque con el distribuidor vial "Palmira" y la Avenida Palmira, con una longitud de 14.5 km entre el primer y segundo punto.

Ubicación:



Las principales problemáticas de esta vía son **tiempo**, **ecológicos** y **económicos**. En la creación de esta vía, el tiempo de recorrido estimado, originalmente, era de 20 minutos aproximadamente. Sin embargo, la ausencia de un “Periférico” alrededor de la ciudad de Cuernavaca y el aumento de la densidad demográfica en la región ha propiciado a su vez, un crecimiento del parque vehicular y del tránsito en la autopista, lo cual trae consecuencias en la vialidad de dicha entidad. En especial esta ruta, sirve como conexión entre los conductores procedentes de las ciudades de Acapulco y Chilpancingo provenientes del suroeste, y de la Ciudad de México al noreste de Cuernavaca, en adición con lo previamente mencionado, la adaptación de este libramiento como un “Periférico Adoptado” por los usuarios de Cuernavaca y las regiones aledañas, implican que el tránsito de vehículos sea elevado, puesto que es una interconexión entre zonas comerciales y en especial, turísticas.

Incluso, en regiones por las que cruza el libramiento, como en la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC), se ha registrado en los años previos un Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) de hasta 45000 mil vehículos. En el caso de

esta ruta, al conectar dos puntos de entrada y salida de la ciudad, considerando lo previamente citado, ocasiona que los carriles centrales, entronques, desviaciones y accesos a la ciudad de Cuernavaca, no sean suficientes para garantizar una buena fluidez vehicular, de tal forma que el congestionamiento de esta se eleva a tal magnitud que en horas pico, tramos como entronque La Paloma, entronque Av. Vicente Guerrero, entronque Galerías Cuernavaca, entronque Av. Plan de Ayala, entronque Adolfo Ruíz Cortínez, y el entronque con la Avenida Palmira se vuelvan zonas con flujo complicado, incrementando por consiguiente tiempos de traslado de los usuarios, así como afecta la productividad de las personas que necesariamente se transportan por esta ruta, ya que se ha observado que incluso el tiempo de traslado del punto La Paloma-Libramiento de Cuernavaca al punto Palmira-Libramiento de Cuernavaca, se ha incrementado hasta cuatro veces su tiempo de traslado original.



Tráfico en Autopista Acapulco-Cuernavaca, Libramiento de Cuernavaca antes del entronque con el Distribuidor Palmira.



Caos Vial Autopista Cuernavaca-Acapulco, en la zona de "El Polvorín" provocado por elevado nivel de tránsito.

Aunado al grave congestionamiento vial que se registra en el Libramiento de Cuernavaca a las horas pico, fines de semana y temporadas vacacionales, lo que provoca que prácticamente permanezcan estacionados decenas de miles de camiones y automóviles, es importante mencionar que se genera una gran cantidad de gases nocivos, dentro de ellos el ozono a la atmósfera y a las zonas ecológicas aledañas a la ciudad.



Mapa De Incidencias del tramo en estudio, donde se observa que la zona de incidencia supera en kilómetros totales al Libramiento de Cuernavaca.

Ante la urgente necesidad de tomar “cartas en el asunto”, se propondrán 3 alternativas que se analizarán posteriormente, con el objetivo principal de seleccionar la mejor alternativa de ellas; sin embargo, a continuación se presentarán los elementos que intervendrán en el desarrollo de este proyecto, definidos cada uno para cada situación en particular.

1.1* Elementos del problema.

***El decisor:**

-Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) por parte del Gobierno Federal.

-Secretaría de Obras Públicas (SOP) por parte del Estado de Morelos.

***Analistas:**

-Ing. Leonardo Isaac Balderas Pérez

-Ing. Javier Alfonso Bonilla Chávez

***Alternativas:**

1.- Construcción del “Paso Exprés” (ampliación a 10 carriles del Paso Exprés, o bien, del Libramiento de Cuernavaca; se realizará en un tramo de 14.5 km [de la Av. La Paloma hasta la Av. Palmira], el cual comprenderá de 4 carriles de 3.50m para tránsito de largo itinerario [exclusivos de la autopista], así como 6 carriles laterales de 3.20 m. para tránsito local).

2.- Construcción del “Eje Norponiente” (Creación de una nueva autopista de 4 carriles e implementación de túneles que conecte la Reserva Ecológica Ajusco-Chichinautzin en la zona poniente del estado de Morelos, con la Autopista del Sol a la altura de Alpuyeca.

3.- Construcción de un Viaducto Elevado de cuota en la ruta ya trazada del libramiento (distribuyendo el tránsito en dos vías, el libramiento ya existente y el viaducto elevado, el cual consta de 4 carriles, 2 por sentido de 3.50m cada carril; ampliando en total a 8 carriles).

*Resultados:

1* La Construcción del “Paso Exprés” en el Libramiento Cuernavaca de la Autopista México-Acapulco, ayudará a disminuir de 30 a 10 minutos el tiempo de recorrido del entronque La Paloma al Distribuidor Vial Palmira, tramo en el que se ha saturado la circulación vehicular. La ampliación a 10 carriles del libramiento (*cinco por cada uno de sus sentidos, 2 por sentido destinados para tránsito de largo itinerario y 4 por sentido destinados para el tránsito local*). Así mismo el libramiento ayudará a unir de manera rápida al Distrito Federal con el estado de Morelos, y así agilizará la llegada a Tequesquitengo y demás balnearios y zonas turísticas del estado de Morelos. Con las mejoras en esta vialidad permitirá que el transporte por tierra, los proyectos y las mercancías provenientes del Aeropuerto Internacional General Mariano Matamoros (que recientemente reanudó operaciones comerciales), lleguen más rápido a su destino y a su vez, mejorará las condiciones de seguridad para los usuarios. Sin embargo en esta ejecución se retirarán de la vía 3000 árboles sin embargo dichos árboles serán replantados en diferentes zonas de la ciudad, además de que disminuirán considerablemente las emisiones de dióxido de carbono al reducir el tránsito.

2* La construcción del “Eje Norponiente” impactará en el denominado Bosque de Agua, que surte del ‘vital líquido’ al Estado de México, CDMX y parte de Morelos, pues implica la construcción de una carretera y la perforación de túneles en la Reserva Ecológica Ajusco-Chichinautzin por la zona poniente del estado para conectar al Aeropuerto Internacional de Cuernavaca y la Autopista del Sol, a la altura de Alpuyecá, afectando la recarga de los acuíferos y el efecto de borde en los ecosistemas de la zona.

3* La Construcción de un Viaducto Elevado de Cuota ayudará a que automovilistas de la zona ahorren de 30 a 35 minutos en las horas de mayor demanda para llegar a la caseta. Con esto, más de 120,000 habitantes de los ocho pueblos cercanos de Tlalpan se verán beneficiados al hacer más rápida la salida

hacia Cuernavaca y aligerando embotellamientos. Dicha agilización beneficiará también a los vacacionistas que utilicen la vía y a los habitantes de la Ciudad de México, entre ellos quienes cuentan con una segunda vivienda en esa entidad, al separar los viajes de largo recorrido y duplicar la capacidad de Viaducto Tlalpan y la salida al Estado de Morelos. Elevará el nivel de movilidad, eficiencia y seguridad para el traslado de las personas que circulen por esta ruta, y reactivará de manera significativa el turismo en Cuernavaca y Acapulco.

**Estados de la naturaleza:*

Los estados de la naturaleza que modifican los resultados de cada alternativa son los que se muestran a continuación:

E1: El impacto ambiental que provocará la construcción del proyecto que al ocupar un territorio modifican las condiciones naturales por acciones tales como desmonte, compactación del suelo y otras. **A este estado de la naturaleza se le asigna un valor de 0.45.**

E2: Derecho de Vía: bien del dominio público de la Federación constituido por la franja de terreno de anchura variable, cuyas dimensiones fija la Secretaría, que se requiere para la construcción, conservación, ampliación, protección y en general para el uso adecuado de una vía de comunicación carretera y sus servicios auxiliares. **A este estado de la naturaleza se le asigna un valor de 0.35.**



E3: Áreas naturales protegidas que se vean afectadas por la perforación de túneles y trazo del proyecto. **A este estado de la naturaleza se le asigna un valor de 0.2.**



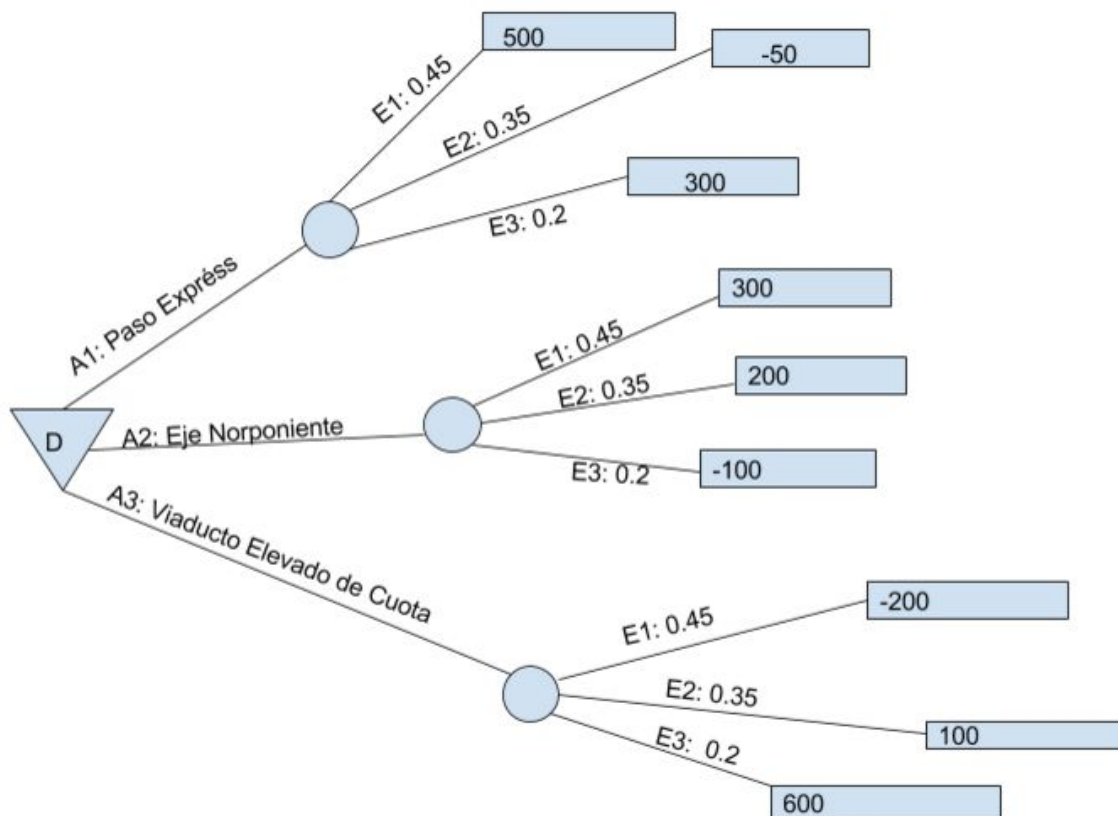
1.2* Modelos del problema de Toma de decisiones.

Nota: Se manejan Ganancias en el desarrollo de las alternativas.

***Modelo Matricial.**

	<u>E1</u>	<u>E2</u>	<u>E3</u>
<u>A1</u>	500	-50	300
<u>A2</u>	300	200	-100
<u>A3</u>	-200	100	600

***Modelo gráfico.**



I



*1.3.Toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre.

*Principio Max(min).

Apoyándonos del método matricial escogeremos al menor de los peores resultados, como la mejor alternativa.

	<u>E1</u>	<u>E2</u>	<u>E3</u>
<u>A1</u>	<u>500</u>	<u>-50</u>	<u>300</u>
<u>A2</u>	<u>300</u>	<u>200</u>	<u>-100</u>
<u>A3</u>	<u>-200</u>	<u>100</u>	<u>600</u>

Los peores resultados obtenidos de cada alternativa son;

-50
-100
-200

De acuerdo al principio Maximin la mejor alternativa por tener el menor de los peores resultados es la **Alternativa 1: “Construcción del Paso Expres”**.

*Principio Max(max).

Este método consiste en buscar el mejor estado de la naturaleza, de cada alternativa, y la decisión correcta será aquella que tenga el mejor de los estados.

500
300
600

De acuerdo al principio Max(Max) la mejor alternativa por tener el mejor de los estados naturales corresponde a la **Alternativa 3: “Construcción de un Viaducto Elevado de Cuota”**.

*Principio de Hurwics.

Este principio distingue los resultados máximos y mínimos de cada alternativa. Los mejores y peores resultados (azul y rojo respectivamente) se presentan en la siguiente tabla.

-50	500
-100	300
-200	600

Índice de optimismo para el caso más optimista: $A=70$; $(100-A)= 30$.

$$U(A1)= 70(500) + 30(500)= 50000$$

$$U(A2)= 70(300) + 30(-500)= 6000$$

$$U(A3)= 70(600) + 30(-250)= 34500$$

De Acuerdo a los resultados obtenidos por el método de Horwitz la mejor alternativa corresponde a la **Alternativa 1: “Construcción del Paso Exprés”**.

*Criterio de Laplace.

Siguiendo el número de estados de la naturaleza 3, las probabilidades de cada uno serán de 0.20. Por lo que el valor esperado de cada alternativa es el siguiente.

$$VE(A1)= 0.20(500) + 0.20(-50) + 0.20(300)= 150$$

$$VE(A2)= 0.20(300) + 0.20(200) + 0.20(-100)= 80$$

$$VE(A3)= 0.20(-200) + 0.20(100) + 0.20(600)= 100$$

De acuerdo con el criterio de Laplace, la **Alternativa 1: “Construcción del Paso Exprés”** es la mejor alternativa por tener el máximo valor esperado de 150.

*Criterio de Savage (Modelo de Arrepentimiento).

Como primer paso se procede a formar la matriz de arrepentimiento, identificando a los mejores valores de cada estado de la naturaleza, quedando la matriz como la siguiente.

	<u>E1</u>	<u>E2</u>	<u>E3</u>
<u>A1</u>	<u>500</u>	<u>-50</u>	<u>300</u>
<u>A2</u>	<u>300</u>	<u>200</u>	<u>-100</u>
<u>A3</u>	<u>-200</u>	<u>100</u>	<u>600</u>

*Estos valores serán restados a cada elemento del estado de naturaleza, quedando la matriz de la siguiente manera:

	<u>E1</u>	<u>E2</u>	<u>E3</u>
<u>A1</u>	<u>0</u>	<u>200-(-50)</u>	<u>600-300</u>
<u>A2</u>	<u>500-(300)</u>	<u>0</u>	<u>600-(100)</u>
<u>A3</u>	<u>500-(-200)</u>	<u>200-100</u>	<u>0</u>

Finalmente la matriz de arrepentimientos quedaría expresada como se muestra a continuación:

	<u>E1</u>	<u>E2</u>	<u>E3</u>
<u>A1</u>	<u>0</u>	<u>250</u>	<u>300</u>
<u>A2</u>	<u>200</u>	<u>0</u>	<u>500</u>
<u>A3</u>	<u>700</u>	<u>100</u>	<u>0</u>

El vector máximo de arrepentimientos quedaría (300, 500, 700), siendo el valor mínimo aquel que apunta a la Alternativa 1: “Construcción del Paso Expres”.

***Criterio de dominancia.**



En este criterio se realiza un comparativo de cada una de las alternativas con los elementos de las demás alternativas del modelo matricial, de tal forma que ninguna presente superioridad con respecto a las demás, de lo contrario no resultaría viable la realización del proyecto.

***A1 y A2**

500	-50	300
300	200	-100

Al ser $-50 < 200$, no existe dominancia de A1 con respecto a A2.

***A1 y A3**

500	-50	300
-200	100	600

Al ser $-50 < 100$, no existe dominancia de A1 con respecto a A3.

***A2 y A1**

300	200	-100
500	-50	300

Al ser $-100 < 300$, no existe dominancia de A2 con respecto a A1.

***A2 y A3**

300	200	-100
-200	100	600

Al ser $-100 < 600$, no existe dominancia de A2 con respecto a A3.

*A3 y A1

-200	100	600
500	-50	300

Al ser $-200 < 500$, no existe dominancia de A3 con respecto a A1.

*A3 y A2

-200	100	600
300	200	-100

Al ser $-200 < 300$, no existe dominancia de A3 con respecto a A2.

****De acuerdo a estos criterios, la mejor alternativa a seleccionar es la Alternativa 1: "Construcción del Paso Expres".***

***1.4. Toma de decisiones bajo condiciones de riesgo.**

Para este tipo de toma de decisiones existen varios criterios, sin embargo el que nosotros utilizaremos para la mejor alternativa es el método de la maximización del valor esperado, siendo los demás criterios auxiliares.

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

	<u>P(E1)= 0.45</u>	<u>P(E2)= 0.35</u>	<u>P(E3)= 0.2</u>
<u>A1</u>	<u>500</u>	<u>-50</u>	<u>300</u>
<u>A2</u>	<u>300</u>	<u>200</u>	<u>-100</u>
<u>A3</u>	<u>-200</u>	<u>100</u>	<u>600</u>

$$E(A1) = 500(0.45) + (-50)(0.35) + 300(0.20) = 267.5$$

$$E(A2) = 300(0.45) + 200(0.35) + (-100)(0.20) = 185$$

$$E(A3) = -200(0.45) + 100(0.35) + 600(0.2) = 65$$

El valor máximo esperado es el que corresponde a la **Alternativa 1**, de tal manera que la “**Construcción del Paso Exprés**” es la mejor opción puesto que buscamos maximizar las ganancias.

Debido a que no hay empate con ninguna alternativa, no se requiere hacer uso del criterio del cálculo de la varianza mínima, sin embargo, realizaremos el cálculo a continuación.

*Cálculo de la Varianza.

$$V(A1) = 0.45(500 - 267.5)^2 + 0.35(-50 - 267.5)^2 + 0.2(300 - 267.5)^2$$

$$V(A2) = 0.45(300 - 185)^2 + 0.35(200 - 185)^2 + 0.2(-100 - 185)^2$$

$$V(A3) = 0.45(-200 - 65)^2 + 0.35(100 - 65)^2 + 0.2(600 - 65)^2$$

$$\mathbf{V(A1)=39818.75}$$

$$V(A2) = 42275$$

$$V(A3) = 89275$$

Por lo tanto, la mejor alternativa a seleccionar es la **Alternativa 1** “**Construcción del Paso Exprés**”.

***Principio del más probable futuro.**

En esta decisión bajo riesgo, el estado de la naturaleza uno (E1) tiene mayor probabilidad de ocurrencia (0.45), por esta razón se eliminan las columnas cuya probabilidad de ocurrencia es menor y asignaremos una nueva probabilidad para designar a la mejor alternativa, con el objetivo de llevar el problema bajo riesgo a uno bajo certeza.

	P(E1)=1
A1	500
A2	300
A3	-200

De acuerdo a este criterio la **Alternativa 1 “Construcción del Paso Exprés”** representa la **mayor ganancia**, es por ello que será considerada como la mejor alternativa.

***Principio del nivel esperado**

Para este criterio es necesario fijar un nivel de aspiración que nos permita evaluar la mejor alternativa. Este nivel de aspiración consiste en tener ganancias mayores a 3000 millones de dólares.

Para A1:

$$P(\text{utilidad} \geq 3000): 0.45 + 0.35 + 0.2 = 1$$

Para A2:

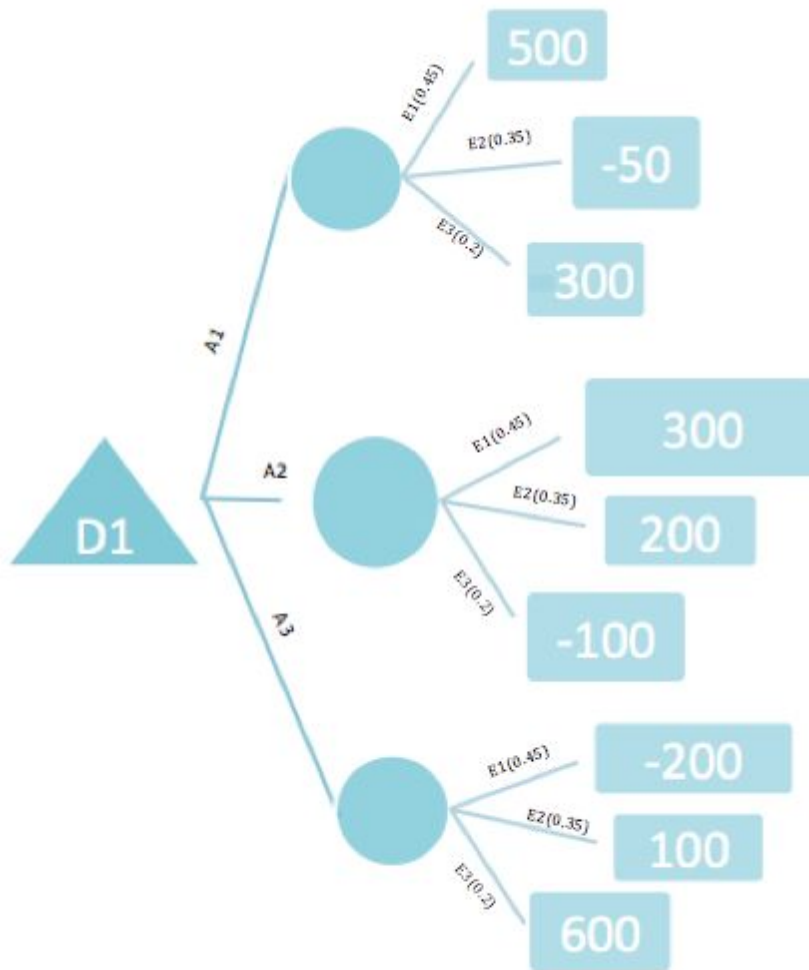
$$P(\text{utilidad} \geq 3000): 0.35 + 0.2 = 0.55$$

Para A3:

$$P(\text{utilidad} \geq 3000): 0.35 + 0.2 = 0.55$$

En este caso, la **Alternativa 1 “Construcción del Paso Exprés”**, nos asegura llegar al objetivo, por lo tanto se dice que *cumple el nivel de aspiración fijado*.

***Diagrama con la alternativa de mejor beneficio.**



Alt A1	$500(0.45)+(-50)(0.35)+300(0.2)=$	<u>267.5</u>
Alt A2	$300(0.45)+200(0.35)+(-100)(0.2) =$	<u>185</u>
Alt A3	$-200(0.45)+100(0.35)+600(0.2) =$	<u>65</u>

Una vez analizado el diagrama, se obtiene que la alternativa con el máximo beneficio a seleccionar es la **Alternativa 1 “Construcción del Paso Expres”**.

Por lo tanto, ***de acuerdo a estas decisiones, la mejor alternativa a seleccionar es la Alternativa 1: “Construcción del Paso Expres”***.

*Valor de la información en las decisiones.

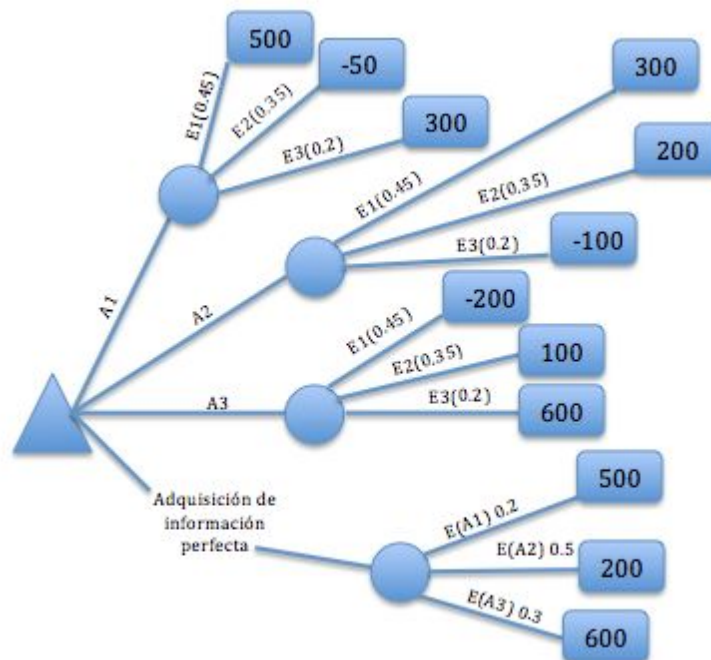
1* Información Perfecta.

Para la búsqueda de la obtención de información perfecta, se visitó a un chamán (brujo) en Catemaco, Veracruz. Se le presentaron las tres alternativas previamente mencionadas en el desarrollo de este proyecto y la información que brindó fue la siguiente:

*La predicción para que la Construcción del Paso Exprés sea exitosa es de 0.2

*La predicción para que la Construcción del Eje Norponiente sea exitosa es de 0.5

*La predicción para que la Construcción del Viaducto Elevado de Cuota sea exitosa es de 0.3



$$VE(\text{Adq. Inf. Perfecta}) = 500(0.2) + 200(0.5) + 600(0.3)$$

$$VE(\text{Adq. Inf. Perfecta}) = 380$$



2* Información Imperfecta.



Para la obtención de información imperfecta, la empresa española URBING ofreció un estudio que arrojó los siguientes resultados brindando las siguientes probabilidades condicionales:

S1= Tiempo estimado de la obra ≤ 2 años

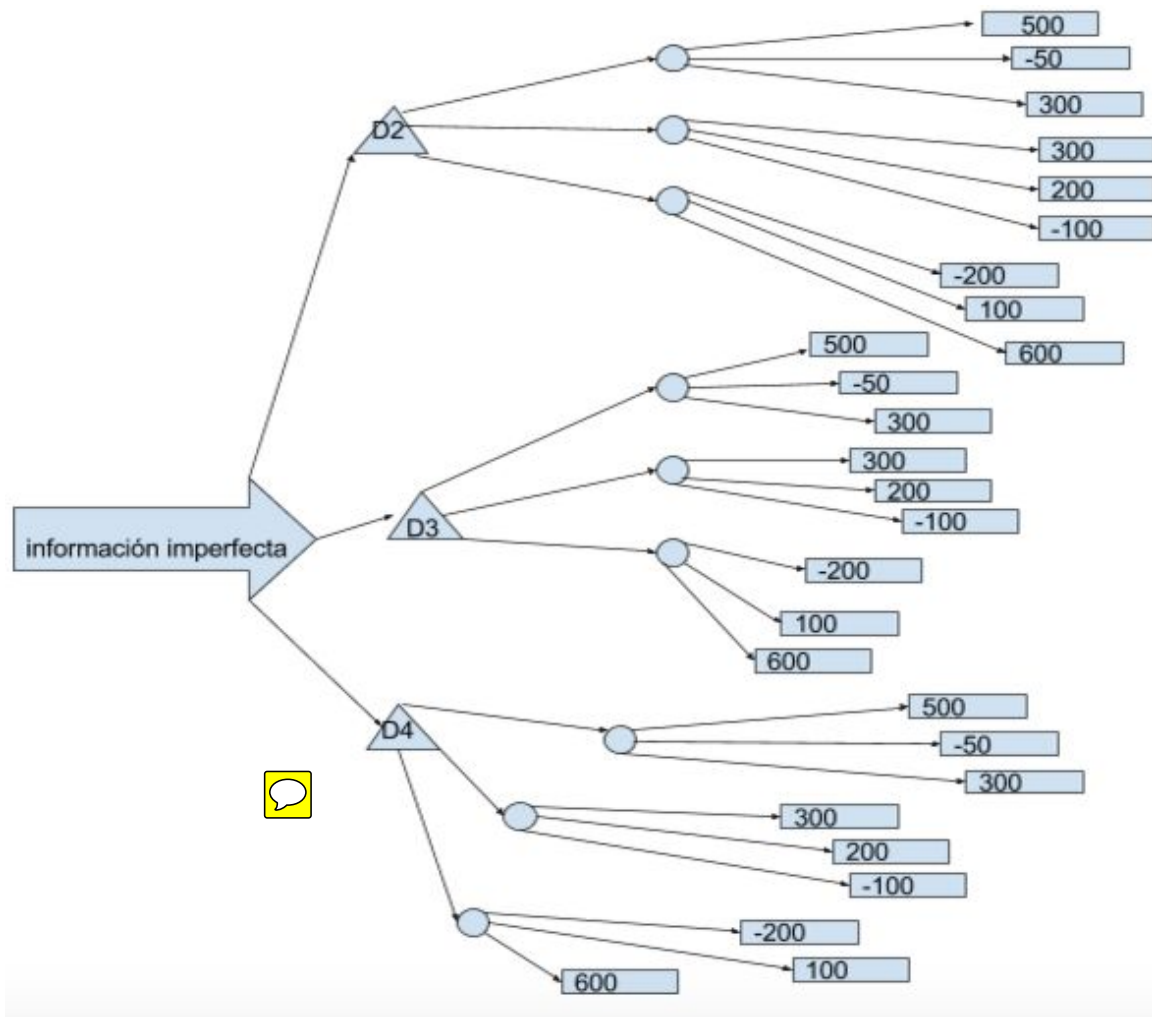
S2= Tiempo estimado de la obra $2 \text{ años} < v \leq 4$ años

S3= Tiempo estimado de la obra > 4 años

Brindándonos las siguientes probabilidades condicionales:

$P(S1/E1) = 0.5$	$P(S1/E2) = 0.3$	$P(S1/E3) = 0.2$
$P(S2/E1) = 0.3$	$P(S2/E2) = 0.6$	$P(S2/E3) = 0.1$
$P(S3/E1) = 0.2$	$P(S3/E2) = 0.1$	$P(S3/E3) = 0.7$

$P(E1)$	0.2
$P(E2)$	0.5
$P(E3)$	0.3



b) Para encontrar las probabilidades posteriores tenemos:

$$P(S1) = ((P(S1/E1))(P(E1)))+(P(S1/E2)(P(E2)))+(P(S1/E3)(PE3))$$

$$P(S1) = (0.5 \times 0.2)+(0.3 \times 0.5)+(0.2 \times 0.3)$$

$$\mathbf{P(S1) = 0.31}$$

$$P(S2) = ((P(S2/E1))(P(E1)))+(P(S2/E2)(P(E2)))+(P(S2/E3)(PE3))$$

$$P(S2) = (0.3 \times 0.2)+(0.6 \times 0.5)+(0.1 \times 0.3)$$

$$\mathbf{P(S2) = 0.39}$$

$$P(S3) = ((P(S3/E1))(P(E1)))+(P(S3/E2)(P(E2)))+(P(S3/E3)(PE3))$$

$$P(S3) = (0.2 \times 0.3)+(0.1 \times 0.5)+(0.7 \times 0.3)$$

$$\mathbf{P(S3) = 0.32}$$

*Cálculo de Probabilidades Condicionales.

$$P(E1/S1)=P(S1/E1) \times P(E1)/P(S1)$$

$$P(E1/S1)=(0.5 \times 0.2) / 0.31$$

$$\underline{\underline{P(E1/S1)= 0.32}}$$

$$P(E2/S1)= P(S1/E2) \times P(E2)/P(S1)$$

$$P(E2/S1)= (0.3 \times 0.5) / (0.31)$$

$$\underline{\underline{P(E2/S1)= 0.48}}$$

$$P(E3/S1)= P(S1/E3) \times P(E3)/P(S1)$$

$$P(E3/S1)= (0.2 \times 0.3) / (0.31)$$

$$\underline{\underline{P(E2/S1)= 0.19}}$$

$$P(E1/S2)= P(S2/E1) \times P(E1)/P(S2)$$

$$P(E1/S2)= (0.3 \times 0.2) / 0.39$$

$$\underline{\underline{P(E1/S2)= 0.15}}$$

$$P(E2/S2)=P(S2/E2) \times P(E2)/P(S2)$$

$$P(E2/S2)=(0.6 \times 0.5) / 0.39$$

$$\underline{\underline{P(E2/S2)= 0.76}}$$

$$P(E3/S2)= P(S2/E3) \times P(E3)/P(S2)$$

$$P(E3/S2)= (0.3 \times 0.1) / 0.39$$

$$\underline{\underline{P(E3/S2)= 0.07}}$$

$$P(E1/S3)= P(S3/E1) \times P(E1)/P(S3)$$

$$P(E1/S3)=(0.2 \times 0.2) / (0.32)$$

$$\underline{\underline{P(E1/S3)= 0.125}}$$

$$P(E2/S3)= P(S3/E2) \times P(E2)/P(S3)$$

$$P(E2/S3)= (0.1 \times 0.5) / 0.32$$

$$\underline{P(E2/S3)= 0.156}$$

$$P(E3/S3)= P(S3/E3) \times P(E3)/P(S3)$$

$$P(E3/S3)= (0.7 \times 0.3) / 0.32$$

$$\underline{P(E3/S3)= 0.65}$$

c) Resolviendo árbol de decisiones para cada nodo:

-Para el nodo D2:

VE(A1) =	295
VE(A2) =	192
VE(A3) =	50

-Para el nodo D3:

VE(A1)=	150
VE(A2)=	20
VE(A3)=	60

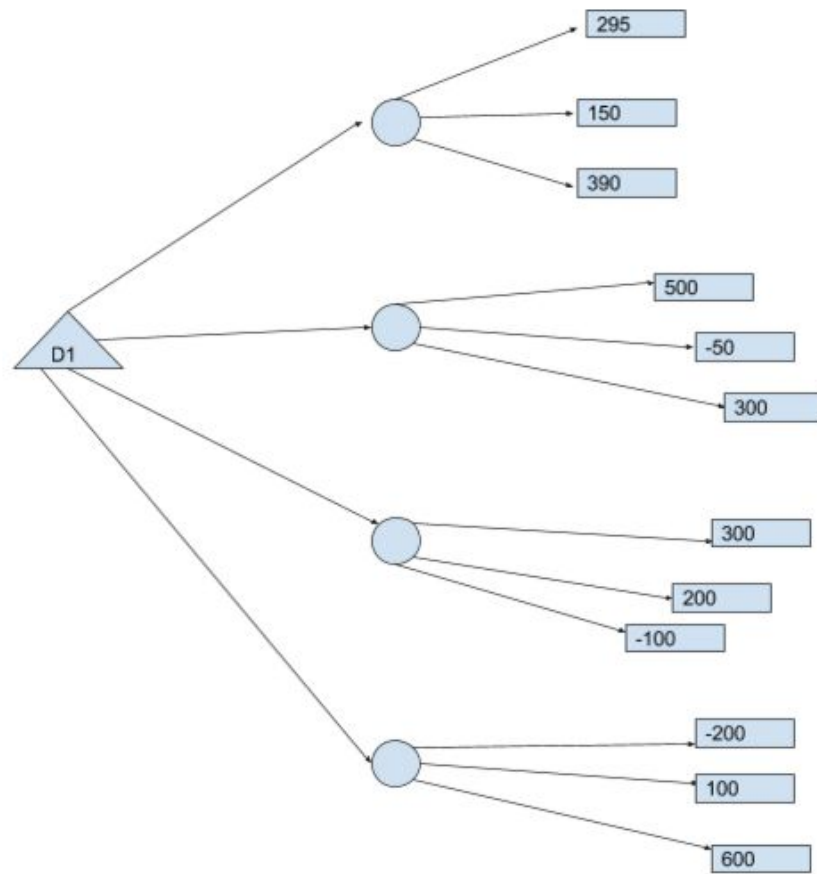
-Para el nodo D4:

VE(A1)=	350
VE(A2)=	-30
VE(A3)=	390



-Para cada alternativa :

VE(A1)=	231.5
VE(A2)=	139
VE(A3)=	169



-Obteniendo el valor esperado para el nodo D1

VE(con información)	$(295 \times 0.2) + (150 \times 0.5) + (390 \times 0.3) = 251$
VE(sin información)	231.5

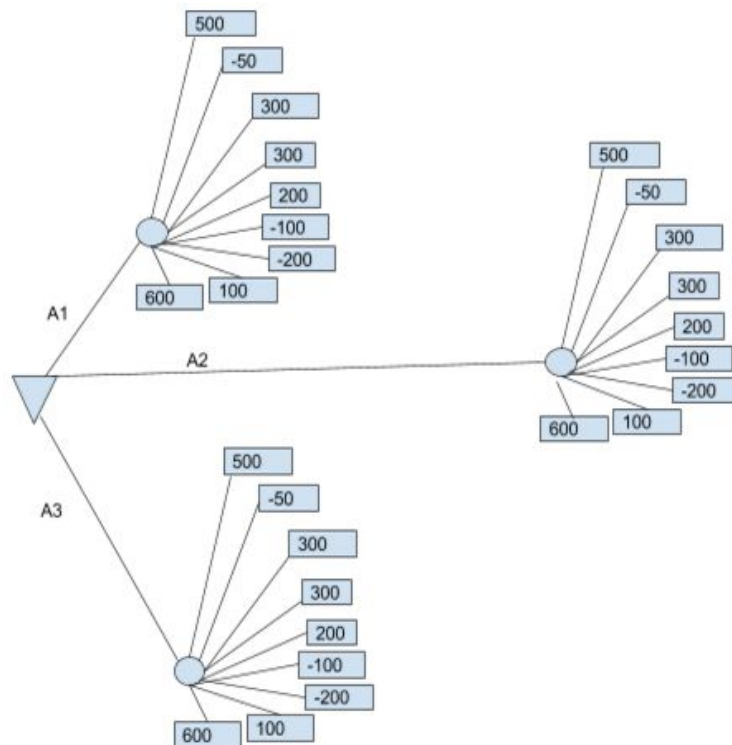
Por lo tanto la mejor elección es la **Alternativa 1 “Construcción del Paso Exprés”** para satisfacer un periodo máximo de construcción de la obra de **2 años**.

El enfoque de utilidad en las decisiones.

4.1* Concepto de Lotería.

A continuación se muestran para cada alternativa las utilidades que estas pueden generar de acuerdo a lo establecido en el contrato:

Ganancia en millones de pesos (mdp)
500
-50
300
300
200
-100
-200
100
600



El conjunto de resultados posibles en orden de preferencia es:

$$X = \{600, 500, 300, 300, 200, 100, -50, -100, -200\}$$

Donde:

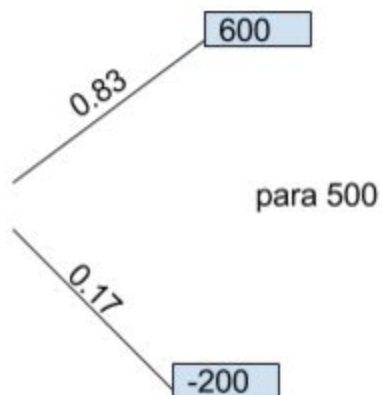
El mejor resultado es $X^ = 600$ y el peor resultado es $X^o = -200$.

*Aplicando el método Cuestionando Probabilidades:

$$U(600) = 1; U(-200) = 0$$

-Analizando la probabilidad de los resultados intermedios y haciendo uso del árbol de equivalentes bajo el criterio del gerente general.

*Para $X_i = 500$.

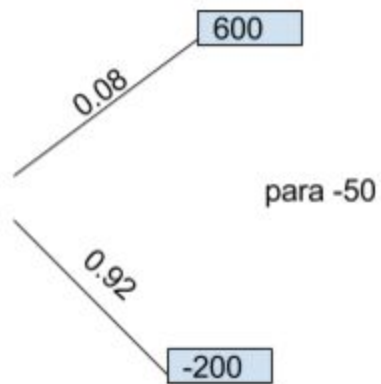


Esto es:

$$U(500) = 0.83 (1) + 0.17(0)$$

$$\underline{U(500) = 0.83}$$

*Para $X_i = -50$.

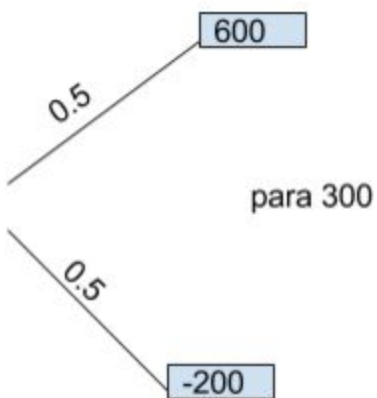


Esto es:

$$U(-50) = 0.08(1) + 0.92(0) = 0.08$$

$$\underline{U(-50) = 0.08}$$

*Para $X_i = 300$.



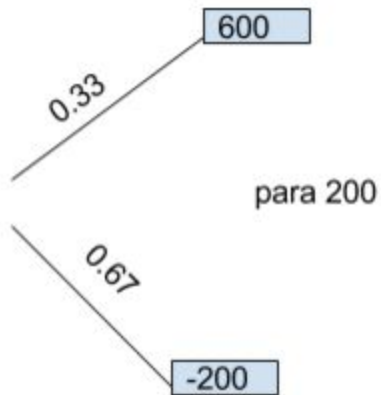
Esto es:

$$U(300) = 0.5(1) + 0.5(0) = 0.5$$

$$\underline{U(300) = 0.5}$$



*Para Xi= 200.

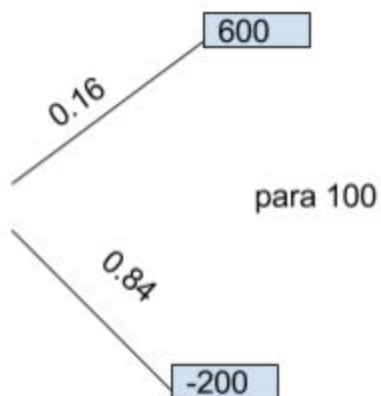


Esto es:

$$U(200) = 0.33(1) + 0.67(0)$$

$$\underline{U(200) = 0.33}$$

*Para Xi= 100.



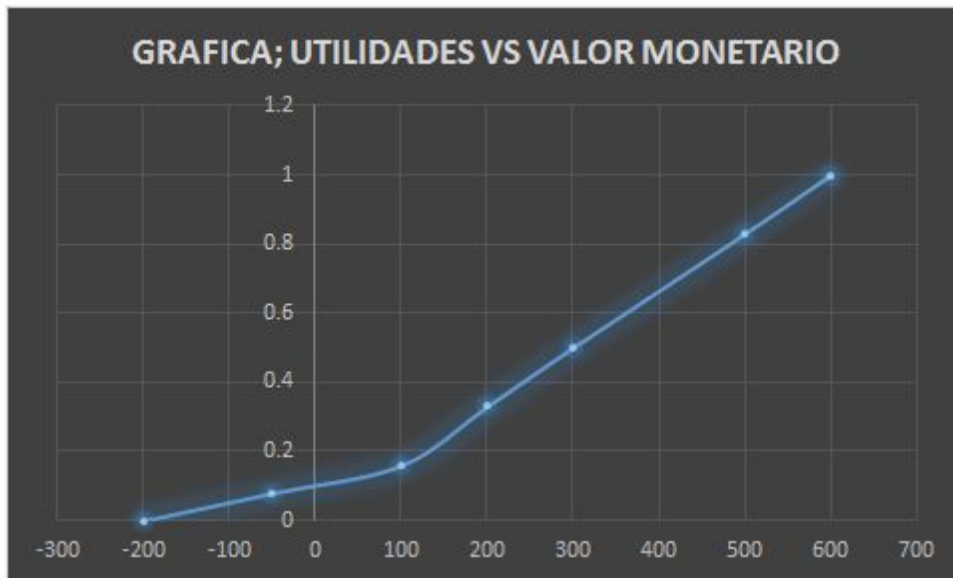
Esto es:

$$U(200) = 0.16(1) + 0.84(0)$$

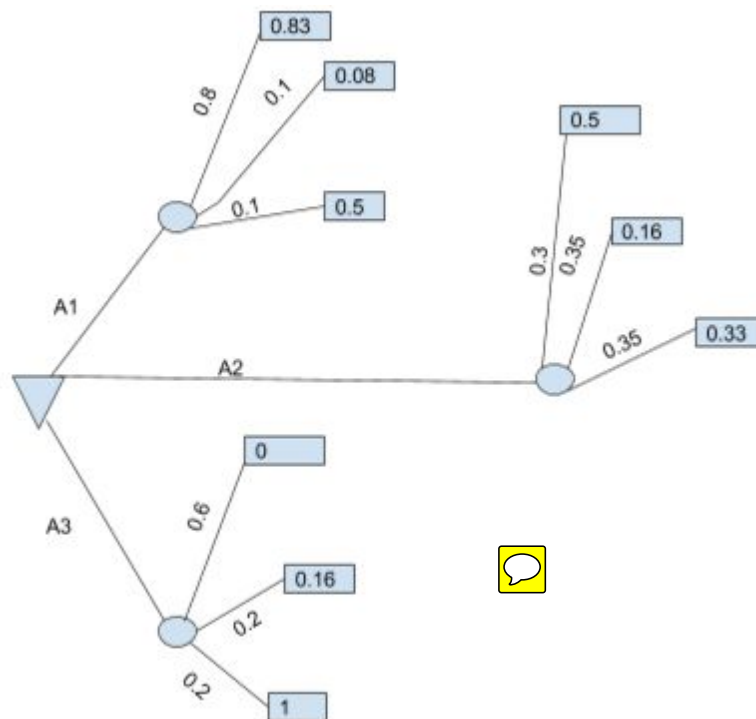
$$\underline{U(200) = 0.16}$$



-Graficando tenemos:



-Aplicando el valor utilitario esperado (VUE):



Obtenemos:

$$\mathbf{VUE(A1) = 0.8(0.83) + 0.1(0.08) + 0.1(0.5) = \underline{0.72}}$$

$$\mathbf{VUE(A2) = 0.3(0.5) + 0.35(0.16) + 0.35(0.33) = 0.32}$$

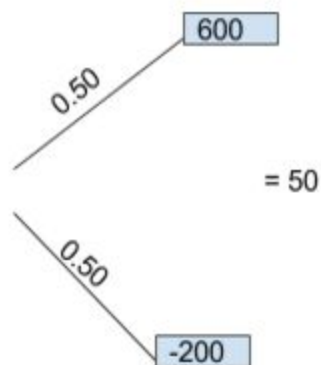
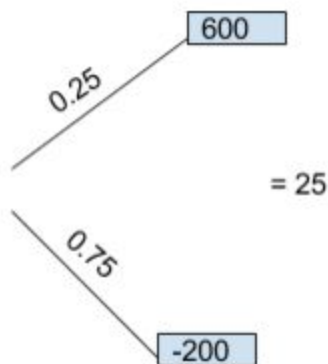
$$\mathbf{VUE(A3) = 0.6(0) + 0.2(0.16) + 0.2(1) = 0.232}$$

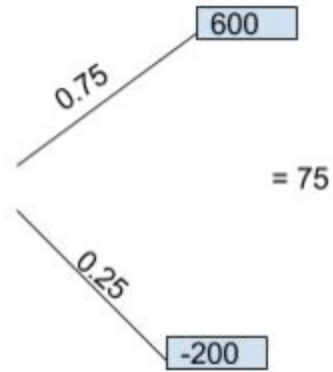
En este caso, la mejor alternativa por obtener la utilidad de 0.72 unidades es la **Alternativa 1 “Construcción del Paso Expres”**.

4.2* Equivalente Bajo Certeza (EBC).

Para evaluar las curvas de utilidad utilizaremos declaraciones de equivalentes bajo certeza (EBC) a un conjunto de loterías. Entre estos métodos se encuentra el del Tetraedro, el cual consiste en pronosticar la cara que quedará contra el piso.

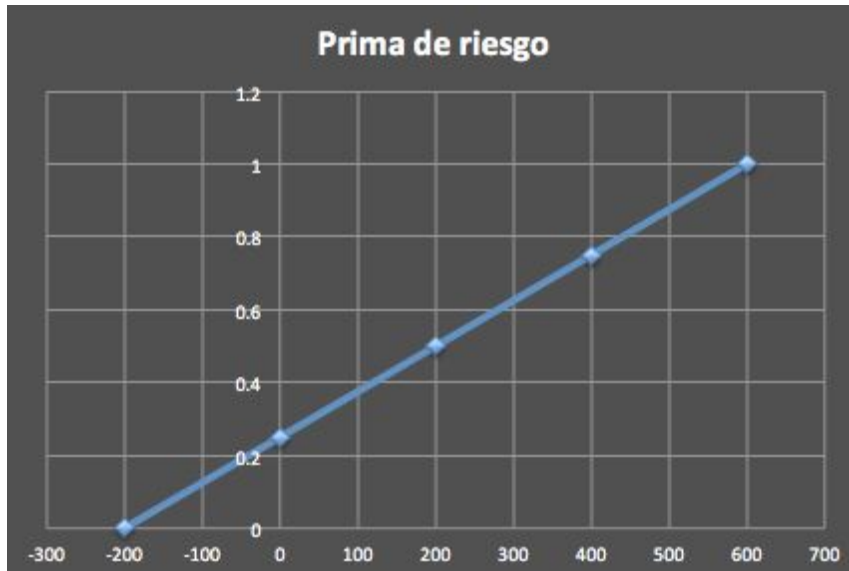
Los supuestos iniciales son los mismos que los empleados en el método anterior, solo que ahora se pedirá al decisor declarar los EBC para las siguientes loterías:





Ganancia en mdp	Probabilidades
500	0.93
-50	0.1
300	0.85
300	0.85
200	0.82
-100	0.05
-200	0
100	0.78
600	1





-Calculando el VUE:

$$\mathbf{VUE(A1) = 0.8(0.93) + 0.1(0.1) + 0.1(0.85) = \underline{0.84}}$$

$$VUE(A2) = 0.3(0.85) + 0.35(0.82) + 0.35(0.05) = 0.56$$

$$VUE(A3) = 0.60 + 0.2(0.78) + 0.2(1) = 0.356$$

Nuevamente, pero esta vez siguiendo el método de equivalente bajo certeza, la mejor alternativa es la **Alternativa 1 “Construcción del Paso Expres”**.

***Decisiones con Multiobjetivos.**

Además, se considerarán los siguientes objetivos para lograr una adecuada toma de decisiones.

*Ganancias obtenidas (mdp).

*Menor impacto ambiental.

*Menor tiempo que tome la obra en llevarse a cabo.

Para ello realizaremos un análisis de estos objetivos con el fin de que la mejor alternativa los satisfaga adecuadamente.

-Independencia Preferencial Mutua.

A continuación se presenta un análisis de los objetivos para que en ellos no exista dependencia mutua, y que exista preferencia.

x1= Ganancias obtenidas (mdp)	500 Millones de pesos	400 Millones de pesos
x2= Menor impacto ambiental	Corte de 200 árboles	Corte de más de 3000 árboles
x3= Menor tiempo que tome la obra en llevarse a cabo.	3 años	5 años

***x1 es independiente de x3**, ya que se prefiere una ganancia de 500 Millones de pesos en 3 años, que 400 Millones de pesos en 5 años.

***x2 es independiente de x3**, ya que se prefiere tener el menor impacto ambiental en 3 años que, la tala de 3000 en 5 años.

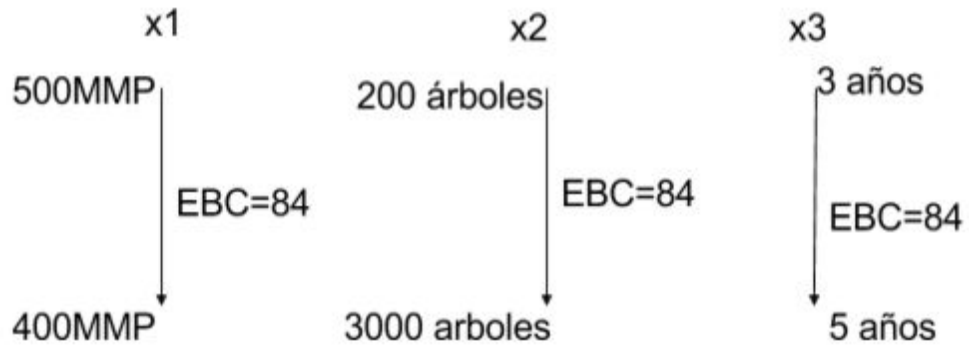
***x2 es independiente de x1**, ya que se prefiere tener el menor impacto ambiental con un tala mínima de 200 de árboles que una tala de 3000 árboles sin importar la ganancia de 400 millones de pesos .



-Independencia Mutua de Utilidades

A continuación se analizará la independencia mutua de utilidades con un EBC=84, tomando en cuenta que:

x1= Ganancias obtenidas (mdp)
x2= Menor impacto ambiental
x3= Menor tiempo que tome la obra en llevarse a cabo.



El EBC=84 **no cambia** con el tiempo en ningún objetivo, lo cual quiere decir que los objetivos son independientes bajo el criterio de independencia mutua.

OBJETIVO 1. Ganancias obtenidas (mdp).



Alternativa	Ganancias en Millones de Pesos (mdp)	Probabilidad
A1	500	0.3
	-50	0.6
	300	0.1
A2	300	0.35
	200	0.3
	-100	0.35
A3	-200	0.6
	100	0.2
	600	0.2

OBJETIVO 2. Menor impacto ambiental.

Alternativa	Tala de Árboles	Probabilidad
A1	100	0.7
	300	0.1
	100	0.2
A2	300	0.3
	200	0.25
	1000	0.45
A3	1000	0.7
	800	0.2
	600	0.1

OBJETIVO 3. Menor tiempo que tome la obra en llevarse a cabo.

Alternativa	Tiempo en meses	Probabilidad
A1	8	0.4
	16	0.4
	12	0.2
A2	14	0.35
	16	0.35
	11	0.3
A3	18	0.6
	10	0.3
	20	0.1

Estimando la probabilidad y valores intermedios de cada objetivo correspondiente a cada alternativa:

***Alternativa 1 “Construcción del Paso Expres”**

-X1: Ganancias obtenidas= 300 (mdp), la probabilidad estimada es igual a 30%.

-X2: Menor impacto ambiental= 500 (# de árboles talados), la probabilidad estimada para este objetivo es igual a 35%.

-X3: Menor tiempo que tome la obra en llevarse a cabo= 42 (# de meses), la probabilidad estimada para este objetivo es igual a 35%.

***Alternativa 2 “Construcción del Eje Norponiente”.**

-X1: Ganancias obtenidas= 300 (mdp), la probabilidad estimada es igual a 15%.

-X2: Menor impacto ambiental= 500 (# de árboles talados), la probabilidad estimada para este objetivo es igual a 35%.

-X3: Menor tiempo que tome la obra en llevarse a cabo= 42 (# de meses), la probabilidad estimada para este objetivo es igual a 50%.

***Alternativa 3 “Construcción de un Viaducto Elevado de Cuota”.**

-X1: Ganancias obtenidas= 300 (mdp), la probabilidad estimada es igual a 60%.

-X2: Menor impacto ambiental= 500 (# de árboles talados), la probabilidad estimada para este objetivo es igual a 20%.

-X3: Menor tiempo que tome la obra en llevarse a cabo= 42 (# de meses), la probabilidad estimada para este objetivo es igual a 20%.

Al existir independencia mutua en las utilidades, consideraremos a la Función de preferencia de tipo multiplicativo

$$P(x_1, x_2, x_3) = (1 - K * k_1 * P_1 * x_1) * (1 - K * k_2 * P_2 * x_2) * (1 - K * k_3 * P_3 * x_3)$$

Con el criterio de utilidad tenemos que:

$$k_1 = 56$$

$$k_2 = 34$$

$$k_3 = 10$$



Entonces:

$$K = ((1+K \cdot k_1) \cdot (1+K \cdot k_2) \cdot (1+K \cdot k_3))^{-1}$$

$$K = ((1+56K) \cdot (1+34K) \cdot (1+10K))^{-1}$$

$$K = 100K + 2804K^2 + 19040K^3$$

$$K = -0.69$$

-Empleando la función de preferencia Multiplicativa para selección de la mejor alternativa.



$$P(A1) = (1 - (-0.69)^{0.56 \cdot 0.3 \cdot 300}) \cdot (1 - (-0.69)^{0.34 \cdot 0.35 \cdot 500}) \cdot (1 - (-0.69)^{0.35 \cdot 0.1 \cdot 42})$$

$$\underline{P(A1) = 3024.16}$$

$$P(A2) = (1 - (-0.69)^{0.56 \cdot 0.15 \cdot 300}) \cdot (1 - (-0.69)^{0.34 \cdot 0.35 \cdot 500}) \cdot (1 - (-0.69)^{0.1 \cdot 0.5 \cdot 42})$$

$$\underline{P(A2) = 1885.82}$$

$$P(A3) = (1 - (-0.69)^{0.56 \cdot 0.6 \cdot 300}) \cdot (1 - (-0.69)^{0.34 \cdot 0.2 \cdot 500}) \cdot (1 - (-0.69)^{0.1 \cdot 0.2 \cdot 42})$$

$$\underline{P(A3) = 2725.91}$$

En conclusión, de acuerdo al uso de los objetivos, la mejor alternativa para la solución al problema es la **Alternativa 1 “Construcción del Paso Exprés”**.