

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

# **TOMA DE DECISIONES BAJO RIESGO: DECISIONES SECUENCIALES**

## **EJEMPLOS DE APLICACIÓN EN LA GESTIÓN DE EMPRESAS**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Autor: Iñigo Ajuria San Juan

Director: Mariano Jiménez López

Curso académico 2017/2018

# Índice

<b>1. Introducción</b> .....	3
<b>2. Terminología del análisis de decisiones</b> .....	4
<b>3. Clases de modelos de decisión</b> .....	6
3.1 Decisiones bajo certidumbre .....	6
3.2 Decisiones bajo riesgo.....	7
3.3 Decisiones bajo incertidumbre .....	8
<b>4. Toma de decisiones con probabilidades</b> .....	9
4.1 Criterio de máxima oportunidad.....	9
4.2 Pago esperado.....	10
<b>5. Valor esperado de la información perfecta (VEIP)</b> .....	11
<b>6. Utilidad de las decisiones</b> .....	12
<b>7. Árboles de decisión</b> .....	14
<b>8. Valor esperado de la información de muestra (VEIM)</b> .....	16
<b>9. Decisiones secuenciales</b> .....	17
<b>10. Caso práctico 1</b> .....	19
<b>11. Caso práctico 2</b> .....	39
<b>12. Conclusiones</b> .....	43
<b>Bibliografía</b> .....	44

## 1. Introducción

El análisis de las decisiones se ha convertido en una herramienta esencial para analizar una gran variedad de modelos de administración en las empresas. La toma de decisiones es una constante del día a día tanto personal como de la empresa, y mientras que algunas decisiones no tienen consecuencias importantes a largo plazo, otras pueden ser el detonante para dirigirnos hacia el éxito o el fracaso. Como ya sabemos, toda información y conocimiento, por muy insignificante que sea a priori, es clave para realizar una buena gestión y supone una aportación a la hora de tomar las mejores decisiones en el mundo empresarial.

Aquí analizaremos modelos de decisión, basados en la cantidad de información disponible en cada caso y acompañados de diferentes criterios de decisión.

Presentaremos la estructura de la teoría de decisiones a través de los diferentes modelos de decisión que existen, haciendo especial hincapié en las decisiones bajo riesgo. También nos adentraremos en el mundo de los árboles de decisión, que suponen una herramienta complementaria muy provechosa a la hora de analizar una secuencia de decisiones con eventos inciertos.

En términos generales, la teoría de decisiones trata de decisiones donde no se sabe qué va a ocurrir y donde el rendimiento de una decisión va a depender de la acción de otro agente que es la naturaleza, sobre el cual no se tiene control. Por ejemplo, en la vida cotidiana, si una decisión trata sobre sacar el paraguas a la calle o no, el rendimiento de mojarse o no dependerá de algo sobre lo que no se puede controlar y que será determinado por la naturaleza. A la naturaleza no le importa cuál es el resultado, por eso la teoría de las decisiones se distingue de la teoría de los juegos, donde ambos factores tienen un interés económico en el resultado.

Por lo tanto, podemos decir que una buena decisión es aquella que está basada en la lógica, considera todos los datos disponibles y todos los posibles estados de la naturaleza, y aplica un procedimiento cuantitativo.

## 2. Terminología del análisis de decisiones

El análisis de decisiones es un proceso que le permite al decisor seleccionar una decisión de varias alternativas posibles, cuando hay una cierta incertidumbre respecto al futuro, con el fin de optimizar el pago resultante, en términos de algún criterio de decisión. Los términos principales del análisis de decisiones son los siguientes:

- **El tomador de decisiones:** Se trata de un individuo o grupo que tiene la responsabilidad de tomar una o varias decisiones secuenciales que se plantean. Hablando en términos empresariales, se conoce que raramente va a ser una sola persona la encargada de asumir toda esa responsabilidad individualmente ya que todo negocio consta de personas y grupos que aportan sus ideas, conocimientos y tareas con el fin de que finalmente se llegue a esa decisión. Pero todo ello se considera una ayuda para que el tomador de decisiones identifique de mejor manera la mejor decisión posible desde esa perspectiva.
- **Las alternativas:** Son las posibles opciones que debe considerar el tomador de decisiones, posibilidades a las que se han llegado de alguna manera para especificar entre qué opciones se va a tomar la decisión. Una buena decisión requiere buscar un conjunto rico y finito de alternativas. Los resultados de las decisiones se verán afectados por factores aleatorios que están totalmente fuera de control, es decir, no hay nada que el tomador de decisiones pueda hacer para repercutir en ellos. Estos factores aleatorios determinan la situación en la que se encontrará cuando se ejecute la decisión. (Arsham, 1996)
- **Los estados de la naturaleza:** Son cada una de las posibles situaciones que se pueden dar después de haber elegido una de las alternativas posibles, es decir, un conjunto de escenarios posibles, sólo puede ocurrir un estado de la naturaleza. El tomador de decisiones tendrá alguna idea sobre la posibilidad relativa de los estados de la naturaleza posibles. Esta información puede adoptar estimaciones subjetivas basadas en la experiencia o la intuición de un individuo, o tal vez puede haber algún grado de evidencia sólida.
- **Probabilidades previas:** Son las estimaciones previas que se hacen para acercarnos todo lo posible a los estados de la naturaleza posibles. Aunque es poco probable que sean probabilidades verdaderas, son las mejores estimaciones disponibles de las probabilidades antes de obtener más información.

- **El pago:** Es el resultado de cada combinación de una alternativa de decisión y un estado de la naturaleza posible. Es una medida cuantitativa de valor para el tomador de decisiones de las consecuencias del resultado. Se expresa como un valor monetario en la mayoría de los casos. Después de identificar la medida adecuada para el pago se estima ese pago para cada combinación y así poder rellenar la tabla de pagos. (Hillier, Hillier, 2008)

### 3. Clases de modelos de decisión

Hay tres clases de modelos de decisión contra la naturaleza. Cada clase está definida con un criterio acerca del comportamiento de la naturaleza. Las tres clases son: decisiones bajo certidumbre, decisiones bajo riesgo y decisiones bajo incertidumbre.

#### 3.1 Decisiones bajo certidumbre

Una decisión bajo certidumbre es aquella en la que quienes toman la decisión saben con certeza cuál es el estado de la naturaleza que va a ocurrir, saben con certeza la consecuencia de cada una de las alternativas que implica la selección de la decisión. Naturalmente, seleccionarán la alternativa que maximizará su bienestar o que mejor resultado les dará.

Al conocerse cuál es el estado de la naturaleza que se va a presentar, se elegirá la alternativa que maximice el beneficio o minimice la pérdida.

Se puede pensar en las decisiones bajo certeza como un caso con un solo estado de la naturaleza, por ello, modelos de programación lineal y otros modelos determinísticos pueden considerarse como decisiones contra la naturaleza, ya que sólo hay un estado de la naturaleza.

Conocemos exactamente el resultado que obtenemos para cada decisión, por lo tanto, se pueden enumerar todos los rendimientos en una sola columna y considerarla como la representación de un estado de la naturaleza del cual estamos seguros de que ocurrirá.

Es mucho más sencillo resolver un modelo con un solo estado de la naturaleza ya que siempre se seleccionará el resultado con el rendimiento más elevado. (Eppen et al., 2000)

### 3.2 Decisiones bajo riesgo

Las decisiones bajo riesgo son una clase de modelos de decisión para la cual hay más de un estado de la naturaleza y para la cual suponemos que quien toma la decisión puede llegar a una estimación de probabilidades de la ocurrencia de cada uno de los estados de la naturaleza.

En la toma de decisiones bajo riesgo la preocupación no radica solamente en los resultados, sino también en la cantidad de riesgo que cada una de las decisiones acarrea. Las acciones están basadas en los resultados esperados y el que toma las decisiones tiene una cierta información que tener en cuenta sobre la posibilidad de los estados de la naturaleza, para que después esto se traduzca en una distribución de probabilidad, siendo el estado de la naturaleza una variable aleatoria.

Se basan en el criterio del valor esperado, en el que las alternativas de decisión se comparan en base a la maximización de la utilidad esperada o la minimización del costo esperado.

Se sabe que una falta de certidumbre respecto a futuros eventos es una característica de la mayoría de los modelos de decisiones administrativas. Es obvio que muchas de las decisiones que se toman cambiarían completamente si se pudiera saber exactamente lo que ocurrirá.

Supongamos, por ejemplo, que hay  $m > 1$  estados de la naturaleza y que “ $p_j$ ” será la probabilidad estimada de que ocurra el estado “ $j$ ”. Generalmente estimaremos esa probabilidad utilizando frecuencias históricas, investigando a lo largo de la historia y registraremos el porcentaje de tiempo que ese estado “ $j$ ” realmente ocurrió en todas nuestras observaciones. Cuando esos datos históricos no están disponibles o el administrador siente que no son relevantes, éste debe hacer estimaciones subjetivas de estas probabilidades.

Dado que a los diferentes rendimientos se asocian diferentes estados de la naturaleza, el rendimiento asociado con la decisión “ $i$ ” es la suma, en todos los estados “ $j$ ” posibles, de términos de la forma: (rendimiento en el estado “ $j$ ” cuando la decisión es “ $i$ ”) multiplicado por (la probabilidad de ocurrencia de estado “ $j$ ”), o  $R_{ij} P_j$ . Entonces podemos utilizar la siguiente ecuación para calcular  $ER_i$ , el rendimiento esperado seleccionando la decisión “ $i$ ”: (Eppen et al.,2000)

$$ER_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \cdot p_j = r_{i1}p_1 + r_{i2}p_2 + \cdots + r_{im}p_m$$

### 3.3 Decisiones bajo incertidumbre

En las decisiones bajo incertidumbre también hay más de un posible estado de la naturaleza, pero en este caso el que toma la decisión no quiere o no puede especificar qué probabilidades hay de que esos diferentes estados de la naturaleza ocurran.

En estos casos se posee información deficiente para tomar la decisión, no se tiene ningún control sobre la situación ni se conoce la interacción de las variables del problema. El decisor conoce cuáles son los posibles estados de la naturaleza, pero no dispone de información alguna sobre qué posibilidades tendrán de ocurrir. No sólo es incapaz de predecir el estado real que se le presentará, sino que además no puede cuantificar de ninguna manera esta incertidumbre.

Hay diferentes criterios de decisiones bajo incertidumbre:

- Criterio maximax: Se considera como el criterio de decisión más optimista. Se enfoca sólo en lo mejor que pueda suceder. Tiene en cuenta la mayor ganancia de cada estado de la naturaleza y elige la mayor, con su alternativa de decisión correspondiente. Todo lo que necesitará es que suceda el estado de la naturaleza correcto y así maximizara sus beneficios.
- Criterio maximin: Se considera como el criterio más pesimista. Éste nos pide concentrarnos en lo peor que pueda suceder. Identifica la menor ganancia de cada estado de la naturaleza y elige la mayor, con su alternativa de decisión correspondiente. El razonamiento de este criterio es que proporciona la mejor protección posible contra la falta de suerte.
- Criterio de Laplace: Se consideran todos los estados de la naturaleza igualmente probables. Este punto de vista puede tomarse como "si nada sé, todo es igualmente posible". Se calcula el resultado de cada estado de la naturaleza posible y se elige la alternativa que contenga el resultado más alto.
- Coste de oportunidad: Representa lo que dejamos de ganar en cada posible estado de la naturaleza. Se elige la alternativa que presente en total el menor coste de oportunidad. Trata de minimizar el arrepentimiento esperado.



## 4. Toma de decisiones con probabilidades

### 4.1 Criterio de máxima oportunidad

El criterio de máxima oportunidad supone concentrarse en el estado de la naturaleza más probable. Lo primero sería identificar el estado de la naturaleza con la mayor probabilidad previa y, por consiguiente, elegir la alternativa de decisión que tenga el resultado más elevado para ese estado de la naturaleza.

Este criterio se basa en la suposición de que ocurrirá lo más probable, y por ello tendremos una mejor oportunidad de resultado favorable que si suponemos cualquier otro estado de la naturaleza.

Este criterio también tiene sus desventajas. Por ejemplo, si nos encontramos ante un caso con un número considerable de estados de la naturaleza, el estado más probable puede tener una probabilidad previa bastante baja, por lo que en ese caso tendría poco sentido basar la decisión solamente en ese estado.

Otra desventaja es que este criterio ignora por completo todos los pagos resultantes en toda la tabla de pagos, inclusive cualquier pago extremadamente elevado o, al contrario, irrelevante, excepto los que se refieren al estado de la naturaleza más probable, y eso en muchos casos podría carecer de sentido. (Hillier, Hillier, 2008)

## 4.2 Pago esperado

El pago esperado es el criterio que se usa con más frecuencia y se nutre de las probabilidades previas de los posibles estados de la naturaleza que se puedan dar.

En cada alternativa de decisión, se calcula el promedio ponderado de sus pagos multiplicando cada pago por la probabilidad previa del estado de la naturaleza correspondiente, y después sumando estos productos. Estadísticamente hablando, este promedio ponderado se conoce como pago esperado (PE) para cada alternativa de decisión. La alternativa con el mayor pago esperado será la elegida.

$$PE_1 = (R_{1a} \times P_a) + (R_{1b} \times P_b)$$

Donde

$PE_1$  es el pago esperado de la alternativa 1

$R_{1a}$  es la estimación del resultado de la alternativa 1 si ocurre el estado de la naturaleza a

$P_a$  es la probabilidad previa de que ocurra el estado de la naturaleza a

$R_{1b}$  es la estimación del resultado de la alternativa 1 si ocurre el estado de la naturaleza b

$P_b$  es la probabilidad previa de que ocurra el estado de la naturaleza b

La gran ventaja de este criterio es que incorpora toda la información disponible, incluyendo todos los pagos y las mejores estimaciones disponibles de las probabilidades de los respectivos estados de la naturaleza.

*El pago esperado de una alternativa de decisión específica que se puede interpretar como cuál sería el resultado promedio si la misma situación se repitiera muchas veces. Por lo tanto, en promedio, usar repetidamente la regla de decisión de Bayes para tomar decisiones llevará a pagos más grandes en el largo plazo que cualquier otro criterio (suponiendo que las probabilidades previas son válidas). (Hillier, 2008)*

Las principales críticas de este criterio son:

- En general hay una incertidumbre considerable al asignar valores a las probabilidades previas, por lo que no se revelará el conjunto real de resultados posibles.
- Las probabilidades previas son en gran parte subjetivas, mientras que la toma de decisiones sólida debe basarse en datos y procedimientos objetivos.
- Al enfocarse en resultados promedio, los pagos esperados ignoran el efecto que debe tener la variabilidad en los resultados posibles sobre la toma de decisiones.

## 5. Valor esperado de la información perfecta (VEIP)

Las probabilidades previas pueden ofrecer estimaciones algo incorrectas de las probabilidades reales de los estados de la naturaleza. La idea es que podría modificarse el conocimiento que se tiene acerca de los estados de la naturaleza. Se trata de una información complementaria con un conocimiento mucho más exacto de lo que sucederá y eso puede conllevar un coste, la pregunta es, ¿qué valor tiene disponer de esa información? ¿cuál es la cuota más alta que estamos dispuestos a pagar por ella? Esta cuota se conoce como el valor esperado de la información perfecta.

En términos generales,

$$\text{cuota} = (\text{rendimiento esperado con la información perfecta}) - (\text{rendimiento esperado con la secuencia actual de los eventos})$$

Así, se define la ganancia esperada con información perfecta a la esperanza de la ganancia tomando para cada estado la mejor opción.

Por otro lado, se estima la ganancia esperada con incertidumbre, es decir, la ganancia esperada con la decisión que se haya tomado con alguno de los criterios anteriores.

Por último, se define el valor esperado de la información perfecta (VEIP), a la diferencia entre ambas ganancias. Es un límite superior para la cantidad que deberíamos estar dispuestos a pagar para mejorar el conocimiento sobre el estado de la naturaleza que ocurrirá.

Literalmente millones de euros se gastan en diferentes proyectos de investigación de mercados y otros dispositivos de prueba para determinar qué estado de la naturaleza ocurrirá en una gran variedad de aplicaciones. El VEIP indica la cifra esperada a ganar por llevar a cabo este esfuerzo, por lo tanto, coloca un límite superior a la cifra que debería ser invertida para reunir esa información.

## 6. Utilidad de las decisiones

Hasta ahora hemos utilizado el valor esperado o ganancia esperada como criterio de decisión, suponiendo que la alternativa con el resultado más alto será la elegida. Sin embargo, existen situaciones en las que el uso del valor esperado como criterio de decisión causaría problemas serios al que toma las decisiones. Valoraciones de tipo calidad, prestigio, etc. no son valores numéricos.

Para reflejar de manera alternativa el aspecto atractivo del resultado de una decisión, se utiliza la utilidad, que es una valoración personal de una cantidad que no varía proporcionalmente. La utilidad viene dada en una función de utilidad, donde se resume la importancia que la persona asocia a diferentes cantidades. En este caso, la palabra utilidad puede considerarse como una medida de satisfacción. Esta función mide el aspecto atractivo del dinero y nunca es decreciente, ya que, a mayor importe, mayor utilidad.

La formalización de lo que tiene que cumplir una función para poder ser una función de utilidad se hace axiomáticamente. No hay una única forma de establecer los axiomas que tiene que cumplir una función de utilidad. Para aplicar el enfoque utilitario a los problemas de decisión, es necesario contar con una función o al menos una gráfica que nos relacione las cantidades de dinero o de unidades del atributo de interés con la utilidad que asignemos a cada una de ellas.

Para el diseño de la curva de utilidades es necesaria la opinión del decisor, ya que sólo él puede sintetizar todos los intereses que deben implicarse en una decisión, incluyendo las actitudes de riesgo.

Como ya hemos dicho, existen diferentes métodos para la obtención de esas curvas, algunos métodos cuestionan probabilidades mientras que otros se basan en preguntas sobre equivalentes bajo certeza para un conjunto de loterías. (Levin, 2004)

Vamos a observar tres tipos generales de funciones de utilidad:

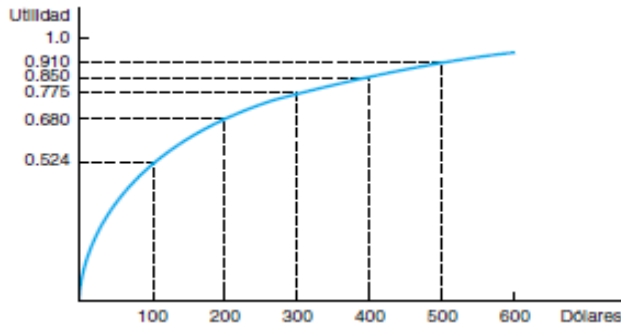


Figura 1: Función típica de utilidad adversa al riesgo

Esta primera es una función de utilidad adversa al riesgo (cóncava), donde el mismo incremento de cantidad de dinero proporciona cada vez menos utilidad cuanto más alto es. En otras palabras, 100€ adicionales son menos atractivos si ya tienes 400€ que si no tienes nada. De manera similar, encontrar 100€ sería un agradable golpe de suerte, pero la diferencia entre recibir 1000€ o 1.100€ sería despreciable. Por lo tanto, vemos que un mismo incremento tiene una utilidad decreciente.

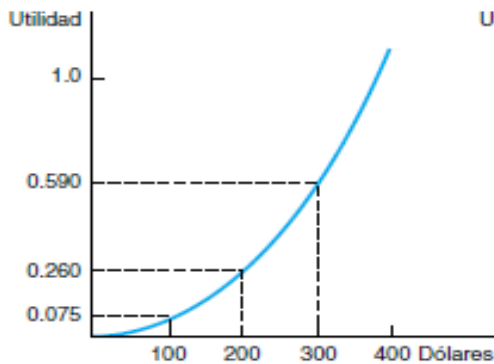


Figura 2: Propensa al riesgo

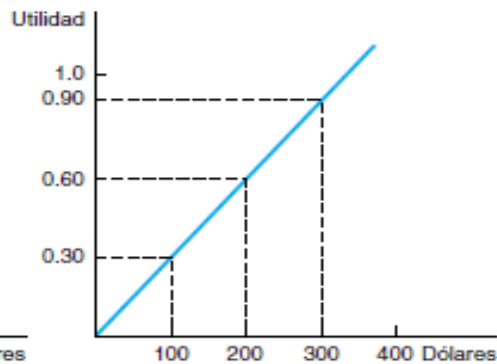


Figura 3: Indiferente al riesgo

La función de la “Figura 2” es una función propensa al riesgo (convexa), donde la ganancia de una cantidad específica de dinero incrementa la utilidad más de lo que una pérdida de la misma la reduce. Por lo tanto, con una función de utilidad propensa al riesgo, un incremento de 100€ aumenta más su satisfacción de lo que un decremento de 100€ la reduce.

Por último, para la función de la “Figura 3” (indiferente al riesgo), que para nada se asemeja a la realidad, una ganancia o pérdida de una cantidad de dinero produce un cambio de la misma magnitud en su utilidad.

## 7. Árboles de decisión

Un árbol de decisión es un modelo gráfico del proceso de las decisiones bajo riesgo que está representado cronológicamente. Con él podemos introducir probabilidades al análisis de decisiones complejas que involucran muchas opciones y condiciones futuras que no se conocen. Tanto las decisiones como las probabilidades de los estados de la naturaleza están definidos.

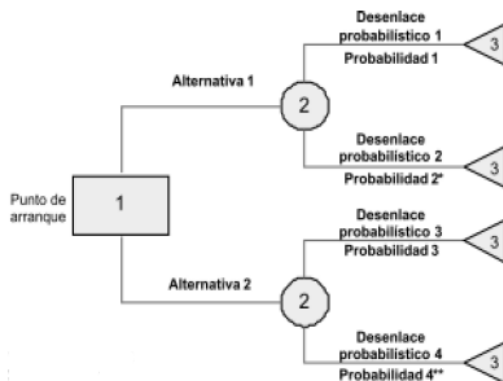
Los árboles de decisión fueron diseñados para utilizarse en modelos en los que hay una secuencia de decisiones, cada una de las cuales podría llevarnos a uno de varios resultados inciertos.

El término “árbol de decisiones” se debe a la apariencia física de la representación gráfica usual de esta técnica. Un árbol de decisiones no sólo contiene las probabilidades de los resultados, sino también los valores monetarios de cada uno de ellos. Por ello, podemos usar estos árboles para indicar los valores esperados de las diferentes acciones que podamos llevar a cabo. Un árbol de decisiones puede ser muy útil para visualizar y analizar un problema.

Los árboles de decisión se representan mediante una red que utiliza dos tipos de nodos:

- **Los nodos de decisión:** representados por medio de una forma cuadrada que simboliza puntos de decisión, donde el tomador de decisiones debe elegir varias acciones posibles.
- **Los nodos de evento:** representados por un círculo que simboliza que ocurre algún estado de la naturaleza. Estos eventos aleatorios no están bajo el control de quien toma las decisiones.

Podemos observar aquí un modelo general de un árbol de decisión:



También existe un nodo inicial o punto de arranque, que es la raíz del árbol y salen de él tantos arcos como decisiones iniciales hay, ya que en un proceso de estas características lo primero es tomar una decisión.

Por último, estaría el nodo terminal, que son los vértices finales de una rama que acarrea una sucesión de estados y decisiones. Se les asigna el coste o beneficio del camino seguido para llegar a él y se representan por un triángulo.

El árbol se construye desde la raíz a las hojas, mostrando un proceso secuencial. Una vez acabado se pliega el árbol de las hojas a la raíz para encontrar la decisión óptima.

En general, los análisis de decisiones requieren que los tomadores de decisiones lleven a cabo los siguientes pasos: (Rubin, 2004)

- 1- Definir el problema en términos estructurados
- 2- Organizar proceso de decisión
- 3- Aplicar los valores de probabilidad y datos apropiados
- 4- Resolver el árbol

El análisis de un árbol de decisiones es una técnica que los administradores usan para estructurar y mostrar opciones y es muy popular porque estructura el proceso de decisión y sirve de guía a los administradores para abordar la toma de decisiones de una manera ordenada y secuencial. Requiere que el tomador de decisiones examine todos los resultados posibles, ya sean buenos o malos.

Esta técnica permite que un grupo discuta las alternativas enfocándose en cada resultado y así moverse en pasos ordenados hacia una decisión de consenso. Además, puede usarse en varios programas informáticos, haciendo posible simular muchos conjuntos diferentes de suposiciones y observar sus efectos sobre el resultado final.

## 8. Valor esperado de la información de muestra (VEIM)

A veces no es suficiente la información o conocimiento que disponemos para llevar a cabo una decisión acertada y es conveniente ir un paso más allá y llevar a cabo un estudio acorde al caso, ya sea un estudio de investigación de mercados en caso de tratarse de estrategias de mercadotecnia, un estudio sísmológico en el caso de las petrolíferas etc.

Suponga que utilizamos las decisiones óptimas determinadas para plegar un paso más el árbol de decisiones. Primero calculamos el rendimiento esperado de llevar a cabo el estudio y tomar la decisión óptima después de determinar los resultados.

De esta manera llegamos al **valor esperado de la información de muestra (VEIM)**. En términos generales:

$$\text{VEIM} = (\text{máximo rendimiento esperado con info.}) - (\text{máximo rendimiento esperado sin info.})$$

El VEIM es un límite superior en la cantidad que deberíamos estar dispuestos a pagar por esta información de muestra en particular. Es una medida de valor para incorporar información de muestra en una decisión bajo condiciones de incertidumbre.

Partiendo del valor esperado de la información perfecta (VEIP), la información perfecta nos revelará probabilidades más exactas de los estados de la naturaleza, y así sabremos el aumento esperado sobre el rendimiento esperado anterior. Éste será el máximo aumento posible en el rendimiento esperado que se obtenga con la información producida en el estudio.





Damos por hecho que la elección de una alternativa supone el abandono del resto, el resultado de dicha decisión depende a su vez de un suceso incierto como es el estado de la naturaleza que se produzca y una vez producido éste, es posible elegir de nuevo entre diferentes alternativas, siendo sus resultados dependientes otra vez de otro estado de la naturaleza que se produzca, así es como funcionan las decisiones secuenciales.

La solución de un problema de decisión secuencial consiste en buscar la secuencia de decisiones óptima a adoptar, es decir, ir determinando los valores monetarios esperados en cada punto de decisión, haciéndolo de derecha a izquierda, empezando por los resultados finales, lo que conocemos como plegar el árbol.

Por otro lado, las decisiones secuenciales también tienen algunas desventajas o limitaciones:

- La consideración explícita de decisiones futuras obliga al decisor a elaborar planes de más largo plazo.
- La técnica de resolución, aunque sencilla, puede volverse compleja en la medida que aumentan alternativas y eventos probabilísticos.
- Sólo maneja distribuciones de probabilidades discretas.

## 10. Caso práctico 1

Dos socios diseñadores desean fundar una nueva marca de ropa y complementos de vestir mixta a través de una página web internacional, en base a la existencia de una cierta demanda. La inversión no es del todo segura, ya que los datos que a priori manejan los dos socios inversores son:

- Demanda baja → 0,6%
- Demanda alta → 0,4%

Una vez terminada la fase de diseño de la primera colección de esta nueva marca, los socios tienen que decidir de qué manera van a llevar a cabo las fases de fabricación, distribución y publicidad de este nuevo proyecto. Se están considerando tres alternativas estratégicas posibles para realizar este proceso:

- 1- **Agresiva:** Esta estrategia supone utilizar materias primas de alta calidad, una red de distribución propia de la empresa, que elevaría considerablemente la inversión y una gran campaña de publicidad que contribuiría a hacerse conocer lo máximo posible.
- 2- **Equilibrada:** En este caso se adquirirían materiales de calidad media para su posterior manufacturación, la distribución correría a cargo de otra empresa en principio y se haría una campaña publicitaria menos costosa.
- 3- **Prudente:** En este plan estratégico la manufacturación se llevaría a cabo en países menos desarrollados donde la mano de obra es más asequible, de la distribución se encargaría una empresa ajena y la campaña publicitaria sería limitada.

Se ha hecho una primera estimación de los ingresos para cada decisión/estado de la naturaleza posible y una estimación de los costes de cada alternativa, con el fin de completar la tabla de retribuciones:

Ingreso alternativa 1: <ul style="list-style-type: none"><li>- Con demanda baja: 75.000€</li><li>- Con demanda alta: 300.000€</li></ul> Ingreso alternativa 2: <ul style="list-style-type: none"><li>- Con demanda baja: 45.000€</li><li>- Con demanda alta: 200.000€</li></ul> Ingreso alternativa 3: <ul style="list-style-type: none"><li>- Con demanda baja: 40.000€</li><li>- Con demanda alta: 120.000€</li></ul>	Coste alternativa 1: 125.000€ Coste alternativa 2: 75.000€ Coste alternativa 3: 35.000€
---	---

## 10.1 RETRIBUCIONES

TABLA DE RETRIBUCIONES (miles de euros)			Rendimiento esperado
	ESTADO DE LA NATURALEZA (DEMANDA)		
DECISIÓN	Baja	Alta	
1- Agresiva	-50	175	40
2- Equilibrada	-30	125	32
3- Prudente	5	85	37

Las entradas de esta tabla representan el flujo de efectivo neto asociado con cada combinación de los ingresos de cada decisión y demanda, menos el coste de cada una de las decisiones.

(Retribución= Ingresos-Costes)

Una vez todos los datos están reunidos en la tabla, el proceso para encontrar la decisión óptima se lleva a cabo con la suma de las dos retribuciones de cada decisión multiplicadas por la probabilidad de cada una de las demandas, calculando así el rendimiento esperado en cada una de las alternativas. Como podemos ver el rendimiento esperado de la primera decisión (agresiva) es el mayor de los tres valores, por lo que a priori sería la decisión óptima, seguida de la tercera (prudente) y la segunda (equilibrada).

## 10.2 DECISIONES BAJO INCERTIDUMBRE

Se han utilizado también los tres diferentes criterios (*maximin*, *maximax* y *minimax arrepentimiento*) que pueden utilizarse para tomar decisiones bajo incertidumbre, esto es, suponiendo que todos los estados de la naturaleza son igualmente probables.

### Criterio maximin

Evalúa cada decisión según la peor circunstancia que pudiera pasar si se toma esa decisión.

TABLA DE RENDIMIENTOS MÍNIMOS (miles de euros)	
DECISIÓN	RENDIMIENTO MÍNIMO
1	-50
2	-30
3	5

En este caso el valor máximo de los rendimientos mínimos (*maximin*) es 5, por lo que, en este caso, se elegiría la tercera alternativa.

### Criterio maximax

Evalúa cada decisión según lo mejor que pudiera pasar si ésta se tomara.

TABLA DE RENDIMIENTOS MÁXIMOS (miles de euros)	
DECISIÓN	RENDIMIENTO MÁXIMO
1	175
2	125
3	85

En este caso el valor máximo de los rendimientos máximos (*maximax*) es 175, por lo que, en este caso, se elegiría la primera alternativa.

### Arrepentimiento y Arrepentimiento minimax

Evalúa el arrepentimiento para cada combinación de decisión y estado de la naturaleza, creando así una nueva tabla de retribuciones de arrepentimiento.

<b>TABLA DE ARREPENTIMIENTO (miles de euros)</b>		
	<b>ESTADO DE LA NATURALEZA (DEMANDA)</b>	
<b>DECISIÓN</b>	Baja	Alta
1- Agresiva	55	0
2- Equilibrada	35	50
3- Prudente	0	90

<b>TABLA DE MÁXIMO ARREPENTIMIENTO (miles de euros)</b>	
<b>DECISIÓN</b>	<b>MÁXIMO ARREPENTIMIENTO</b>
1	55
2	50
3	90

La decisión que minimiza el arrepentimiento máximo sería la de la segunda alternativa, ya que tiene el valor más pequeño de los arrepentimientos máximos.

Se concluye que, cuando se toman decisiones sin utilizar probabilidades, los tres criterios pueden llevar diferentes decisiones "óptimas".

### 10.3 EL VALOR ESPERADO DE LA INFORMACIÓN PERFECTA

Los dos socios tienen la posibilidad de contactar con un experto en la materia para precisar un poco más las probabilidades. Esto supondría un gasto extra pero también estaría a mano de los socios una información más segura.

El experto no puede hacer que una demanda en particular se convierta en cierta, pero tiene el conocimiento perfecto de lo que sucederá y está dispuesto a vender ese conocimiento o información.

La pregunta es, ¿cuál es la cuota más alta que los socios deberían estar dispuestos a pagar para recibir esa información?

$$\text{cuota} = (\text{rendimiento esperado con el nuevo trato}) - (\text{rendimiento esperado con la secuencia actual de los eventos [sin trato o arreglo]})$$

Con el nuevo trato los dos socios siempre tomarán la decisión que les dará el rendimiento máximo para el estado de la naturaleza que va a ocurrir. Sin embargo, el pago debe ser hecho antes de saber cuál será la demanda. Su rendimiento esperado (RE) bajo el nuevo trato se calculará teniendo en cuenta los rendimientos máximos de cada estado de la naturaleza.

$$\text{RE}(\text{nuevo}) = 5(0,6) + 175(0,4) = 73$$

Ya hemos visto que en ausencia de información perfecta su decisión óptima era la de elegir la tercera alternativa que da un rendimiento esperado de 40. Por lo tanto, podemos calcular el valor esperado de la información perfecta (VEIP) como sigue:

$$\text{VEIP} = 73 - 40 = 33 \rightarrow 33.000 \text{ euros}$$

Ésta es la cantidad máxima que nuestro vendedor deberá estar dispuesto a pagar al experto para que a través de un estudio minucioso y elaborado puedan tener una idea más concreta de lo que puede ocurrir.

Hay que tener en cuenta que el valor esperado de la información perfecta indica la cifra esperada a ganar por llevar a cabo este esfuerzo, por lo tanto, coloca un límite superior a la cifra que debería ser invertida realmente para reunir esa información.

## 10.4 FUNCIÓN DE UTILIDAD

También se quiere crear una función de utilidad para medir el aspecto atractivo del dinero, es decir, la utilidad puede considerarse como una medida de satisfacción. Analizamos dos métodos para crear dicha función.

La primera consiste en hacer una serie de elecciones entre un rendimiento seguro y una lotería.

Dado que el rendimiento mínimo de la tabla de retribuciones es de -50 y el máximo es de +175, determinan que  $U(-50) = 0$  y  $U(175) = 1$ . Ambos valores juegan un papel importante para encontrar la utilidad de cualquier cantidad de dinero entre -50 y 17. Comenzando con esos datos, queremos encontrar por ejemplo el valor de la utilidad de 40 [ $U(40)$ ]. Comenzamos seleccionando una probabilidad  $p$  que resulte indiferente entre estas dos alternativas:

1- Recibir un pago seguro de 40

2- Participar en una lotería en la cual, con una probabilidad  $p$ , reciben un pago de 175, o con una probabilidad  $(1-p)$  reciban un pago de -50.

Está claro que en algún punto entre 0 y 1 habrá un valor  $p$  tal que a quien toma la decisión le resulte indiferente cualquiera de las dos alternativas.

$$p(175) + (1 - p)(-50) = 40$$

$$225p - 50 = 40$$

$$p = 0.4$$

Resolviendo la ecuación encontramos el valor de  $p$  en el cual el valor esperado de la lotería iguala al pago seguro de 40. Si el administrador elige un valor  $p$  mayor que 0.4, es adverso al riesgo y la función de utilidad sería cóncava, igual a 0.4 indiferente al riesgo, y menor que 0.4 sería propenso al riesgo con una función de utilidad convexa.



El segundo y más popular método para elaborar la función de utilidad consiste en usar una función de utilidad exponencial. Esta función requiere la evaluación de un solo parámetro y tiene la siguiente forma:

$$U(x) = 1 - e^{-x/r}$$

donde  $x$  es la cantidad de dinero que convertiremos en utilidad. El único parámetro por evaluar es  $r$ , que es una constante que mide el grado de aversión al riesgo.

Primero, determinamos una cantidad de dinero  $r$  tal que al administrador le sean indiferentes las siguientes dos opciones:

1- Un juego 50-50 donde la retribución es una ganancia de  $r$  euros o una pérdida de  $r/2$  euros con igual probabilidad

2- Una retribución de cero

Supongamos que nuestros dos socios se muestran indiferentes entre una apuesta donde ganan 150€ o pierden 75€ con igual probabilidad, y ninguna apuesta. Entonces su  $r$  es de 150€. Por lo tanto:

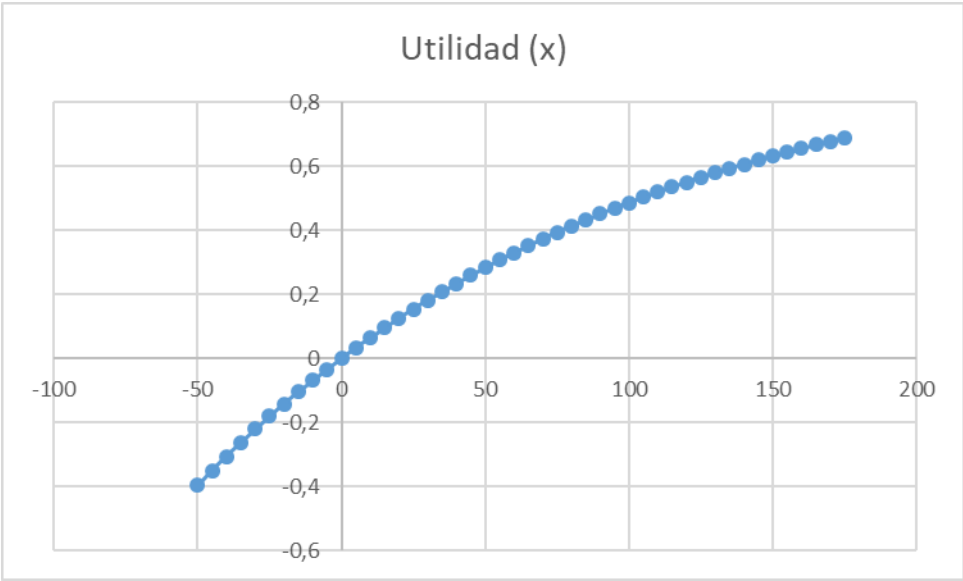
$$U(x) = 1 - e^{-x/150}$$

Generamos una nueva tabla de retribuciones donde las entradas consisten en la utilidad del flujo neto de efectivo asociado con cada combinación de una decisión con un estado de la naturaleza.

TABLA DE RETRIBUCIONES (Utilidad)			Rendimiento esperado
	ESTADO DE LA NATURALEZA (DEMANDA)		
DECISIÓN	Baja	Alta	
1- Agresiva	-0,396	0,689	0,038
2- Equilibrada	-0,221	0,566	0,093
3- Prudente	0,033	0,433	0,193

Podemos ver en la columna de “rendimiento esperado” que, basándose en el criterio de maximización de la utilidad esperada, los dos socios deberían escoger la tercera alternativa ya que es la más elevada. Regresando al análisis anterior, se observa que si fundamentasen la decisión en la maximización del flujo de efectivo neto esperado, la decisión óptima era bien diferente (la primera) por lo que podemos concluir que no siempre resulta cierto que la decisión que presenta el mayor flujo de efectivo esperado también obtenga la utilidad esperada más grande.

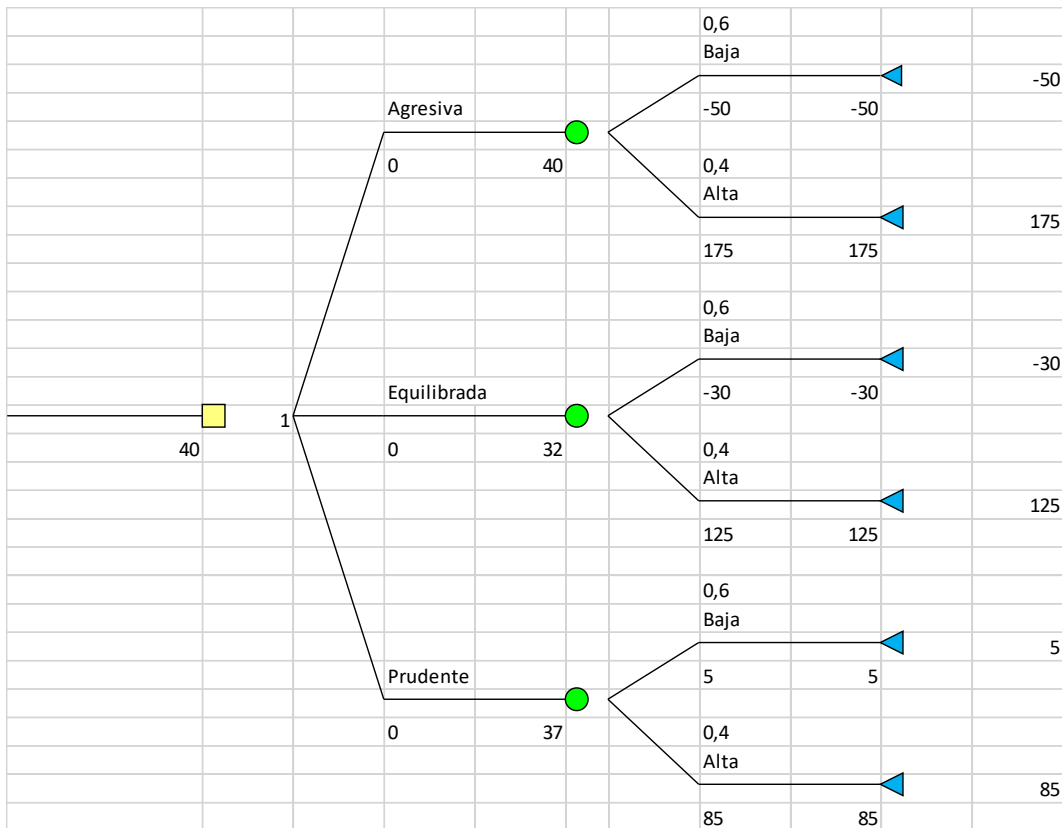
Finalmente, utilizamos estos datos para hacer la gráfica de su función de utilidad y conocer su forma.



## 10.5 ÁRBOL DE DECISIÓN

Este modelo de mercadotecnia también puede representarse mediante un árbol de decisiones ya explicado anteriormente. A través de la primera tabla de retribuciones creamos nuestro árbol mediante el programa TreePlan de Excel:

(Excel: Árbol de decisión)



Vemos que tenemos un nodo inicial, el nodo cuadrado, donde tendremos que tomar una decisión entre las estrategias Agresiva, Equilibrada y Prudente. Dependiendo de la decisión que se tome, se llegará a una nueva posición en el árbol, donde nos espera un nodo circular. En este caso la siguiente rama no se conoce con seguridad porque depende del estado de la naturaleza que ocurra, una vez sepamos el resultado llegaremos al nodo terminal.

Ya vemos que TreePlan nos pliega el árbol automáticamente, plegando primero las ramas terminales calculando el valor esperado en cada nodo terminal. Como hemos visto anteriormente, TreePlan nos indica a través del número "1" en el nodo de decisión que la elección óptima es la primera (Agresiva).

## 10.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Antes de pasar al punto donde obtenemos nueva información concerniente a la posibilidad de eventos inciertos, será útil considerar de nuevo el rendimiento esperado con cada una de las decisiones. Hemos observado que para calcular el rendimiento esperado de la estrategia 1, se utiliza la relación

$$RE(1) = (-50)P(B) + (175)P(A)$$

También sabemos que

$$P(B) + P(A) = 1, \text{ o } P(B) = 1 - P(A)$$

Por tanto

$$RE(1) = 175P(A) - 50[1 - P(A)] = -50 + 225P(A)$$

Este rendimiento esperado es por eso una función lineal de la probabilidad de que la demanda sea alta. Se consiguen así las funciones para las otras dos alternativas:

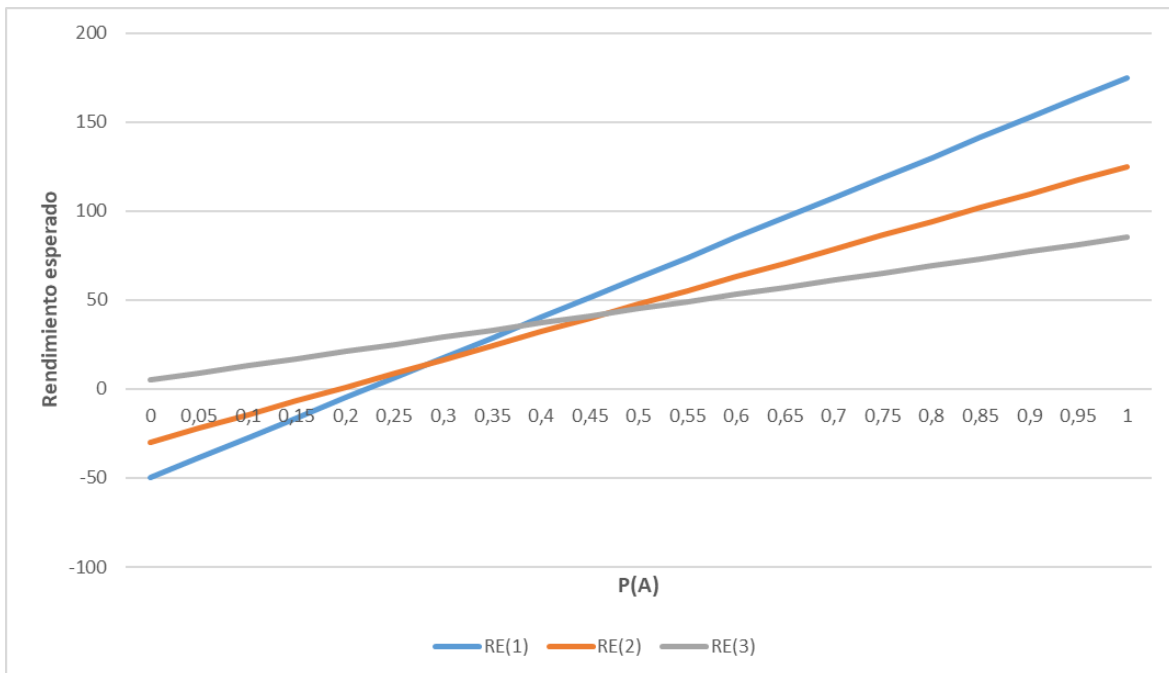
$$RE(2) = 125P(A) - 30[1 - P(A)] = -30 + 155P(A)$$

$$RE(3) = 85P(A) + 5[1 - P(A)] = 5 + 80P(A)$$

Hacemos una tabla con las cantidades que queremos rastrear para calcular los rendimientos esperados de las tres diferentes estrategias para los valores de P(A) entre 0 y 1:

	<b>RE(1)=-50+225P(A)</b>	<b>RE(2)=-30+155P(A)</b>	<b>RE(3)=5+80P(A)</b>
<b>0</b>	-50	-30	5
<b>0,05</b>	-38,75	-22,25	9
<b>0,1</b>	-27,5	-14,5	13
<b>0,15</b>	-16,25	-6,75	17
<b>0,2</b>	-5	1	21
<b>0,25</b>	6,25	8,75	25
<b>0,3</b>	17,5	16,5	29
<b>0,35</b>	28,75	24,25	33
<b>0,4</b>	40	32	37
<b>0,45</b>	51,25	39,75	41
<b>0,5</b>	62,5	47,5	45
<b>0,55</b>	73,75	55,25	49
<b>0,6</b>	85	63	53
<b>0,65</b>	96,25	70,75	57
<b>0,7</b>	107,5	78,5	61
<b>0,75</b>	118,75	86,25	65
<b>0,8</b>	130	94	69
<b>0,85</b>	141,25	101,75	73
<b>0,9</b>	152,5	109,5	77
<b>0,95</b>	163,75	117,25	81
<b>1</b>	175	125	85

Utilizamos los valores de la tabla para crear una gráfica con el trazo de cada una de estas tres funciones sobre un mismo juego de ejes.



El eje vertical es el rendimiento esperado y el horizontal es  $P(A)$ , la probabilidad de que la demanda sea alta. Se observa que cuando  $P(A) = 0$ , entonces  $RE(1) = -50$ . Recordamos que cuando  $P(A) = 0$  estamos seguros de que la demanda será baja, y ya hemos visto anteriormente que si la demanda es baja y tomamos la primera alternativa estratégica, el rendimiento será de -50.

Esta gráfica muestra cuál es la decisión óptima para cualquier valor particular de  $P(A)$ .

Realizamos el trazo de cada una de estas tres funciones sobre un mismo juego de ejes, con el fin de que el análisis de la gráfica nos proporcione mucha más información que la que teníamos anteriormente.

Aunque un diagrama como éste sólo puede utilizarse cuando hay dos estados posibles de la naturaleza, resulta un dispositivo pedagógico útil para ilustrar la sensibilidad de la solución óptima a las estimaciones de probabilidades y rendimientos.

## 10.7 INCORPORACIÓN DE NUEVA INFORMACIÓN

Los dos socios están a punto de recomendar la primera alternativa estratégica (Agresiva), cuando deciden por consejo de un experto en la materia que lo mejor antes de nada es llevar a cabo un estudio de investigación de mercados.

Consultan un grupo de investigación de mercados de una corporación ajena. Este grupo llevaría a cabo un estudio y prepararía un informe en cosa de un mes, sobre si el estudio es alentador (A) o desalentador (D), es decir, si el estudio resulta ser alentador la situación será más optimista para los socios. Por lo tanto, en un plazo de un mes tendrían esta información adicional, la cual obviamente tendría que ser tomada en cuenta antes de tomar una decisión.

Una vez los resultados de la prueba estuvieran disponibles, la primera estimación de  $P(F)$ , es decir, la probabilidad de que la demanda sea alta, sería actualizada. Si el estudio resultara ser alentador, los dos socios probablemente querrían aumentar la estimación de  $P(F)$ . Si los resultados del estudio fueran desalentadores, entonces  $P(F)$  debería ser reducido.

La actualización deberá realizarse después, basándose en el concepto de probabilidad condicional, mediante un método tabular, adecuado para usarse en un programa de hoja de cálculo.

La primera estimación que manejan los dos socios, es decir, las probabilidades *a priori*, de que la demanda sea alta o baja son:  $P(B) = 0,6$  y  $P(A') = 0,4$ .

$P(A|A')$  es la probabilidad condicional de que se proporcione un informe alentador dado que la demanda sea alta. Si el informe fuera totalmente confiable, esta probabilidad condicional sería igual a 1; esto es, siempre daría un informe alentador cuando la demanda fuera de hecho alta. Sin embargo, el registro histórico de la mercadotecnia no es perfecto. En el pasado, cuando la demanda ha sido alta, se han emitido informes alentadores sólo el 55% de las veces. Por lo tanto,  $P(A|A') = 0,55$ . Dado que la mercadotecnia siempre emite un informe alentador o desalentador, el valor de  $P(D|A')$  será  $1 - 0,55$ , o  $0,45$ ; esto es, emitieron un informe desalentador el 45% de las veces en que en realidad la demanda era alta.

La mercadotecnia es de alguna manera más acertada en la predicción de una demanda baja, pero aun así no es perfecta:  $P(D|B) = 0,75$ . Esto es, en el pasado, cuando la demanda de hecho ha sido baja, mercadotecnia ha emitido un informe desalentador el 75% de las veces. Así pues,  $P(A|B) = 0,25$ .

La clave para obtener las probabilidades *a posteriori* es el teorema de Bayes.

	CONFIABILIDADES	
	Baja	Alta
<b>Alentador</b>	0,25	0,55
<b>Desalentador</b>	0,75	0,45

PROBABILIDADES A PRIORI	
Baja	Alta
0,6	0,4

Multiplicando las confiabilidades con la probabilidad *a priori* correspondiente obtenemos las probabilidades conjuntas. Después calculamos la suma de entradas para cada fila de la tabla y obtenemos las probabilidades marginales:

	PROBABILIDADES CONJUNTAS Y MARGINALES			
	Baja	Alta		
<b>Alentador</b>	0,15	0,22	0,37	<-- Probabilidad de A, P(A)
<b>Desalentador</b>	0,45	0,18	0,63	<-- Probabilidad de D, P(D)

Cuando tengamos estas probabilidades creamos la tabla de las probabilidades *a posteriori* dividiendo cada entrada de fila de la tabla de probabilidades conjuntas entre la suma de fila que le corresponde:

	PROBABILIDADES A POSTERIORI		
	Baja	Alta	
<b>Alentador</b>	0,405405405	0,59459459	<-- P(A A)
<b>Desalentador</b>	0,714285714	0,28571429	<-- P(A D)

Una vez calculadas las probabilidades *a posteriori* se ha utilizado en Excel el comando de tabla de datos para generar todas las probabilidades *a posteriori* de una demanda alta ( $P[A'IA]$  y  $P[A'ID]$ ) para valores de la probabilidad a priori  $P(A')$  entre 0 y 1, en incrementos de 0,1.

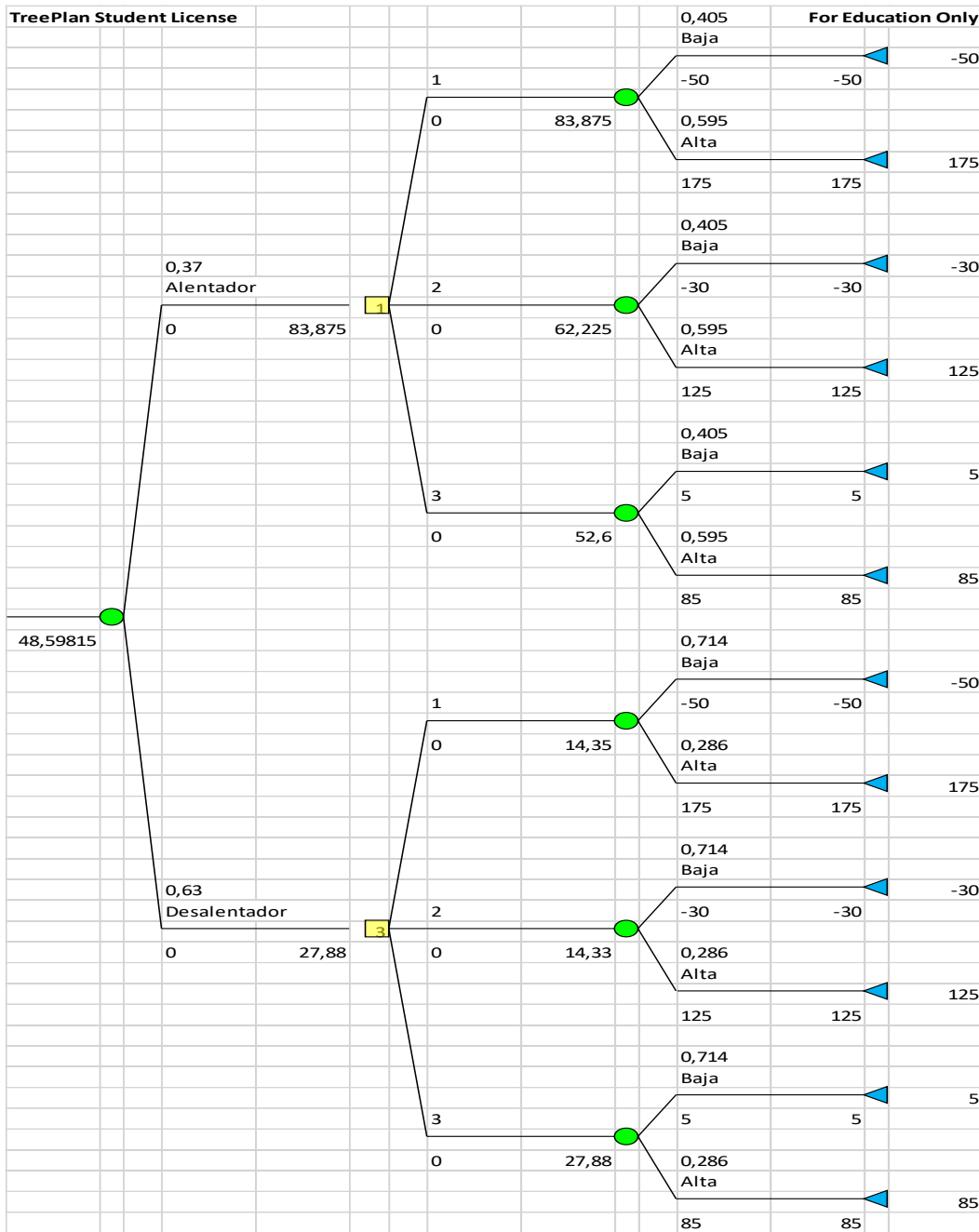
	$P(A'IA)$	$P(A'ID)$
<b>A priori, <math>P(A')</math></b>	<b>0,594595</b>	<b>0,285714</b>
<b>0</b>	0	0
<b>0,1</b>	0,196429	0,0625
<b>0,2</b>	0,354839	0,130435
<b>0,3</b>	0,485294	0,204545
<b>0,4</b>	0,594595	0,285714
<b>0,5</b>	0,6875	0,375
<b>0,6</b>	0,767442	0,473684
<b>0,7</b>	0,836957	0,583333
<b>0,8</b>	0,897959	0,705882
<b>0,9</b>	0,951923	0,84375
<b>1</b>	1	1

Se observa que cuando la probabilidad *a priori* de una demanda alta aumenta, también aumenta la probabilidad *a posteriori* de una demanda alta, ya sea en un resultado alentador o desalentador de la prueba. Se observa también que la probabilidad *a posteriori* de una demanda alta es mayor que la probabilidad *a priori* si se da un resultado alentador de la prueba, pero la probabilidad *a posteriori* es menor que la probabilidad *a priori*, si se da un resultado desalentador (excepto cuando  $P(A') = 0$  ó  $1$ , en cuyo caso las probabilidades *a priori* y *a posteriori* son iguales).



Una vez conseguidas las probabilidades *a posteriori* proceden a incorporar esas probabilidades al árbol de decisión:

(Excel: Árbol de decisión 2)



Podemos ver que si la prueba es Alentadora (A), para maximizar el rendimiento esperado, deben acogerse a la primera alternativa, como nos indica el número "1" del nodo de decisión de arriba, aun con más razón que al principio, cuando carecían del estudio. De manera similar, si el resultado de la prueba es Desalentadora (D), deben elegir la tercera alternativa, indicada con el número "3" en el nodo cuadrado.

## 10.8 EL VALOR ESPERADO DE LA INFORMACIÓN DE MUESTRA

Supongamos que utilizamos las decisiones óptimas determinadas para plegar un paso más el árbol de decisiones. El rendimiento esperado en el nodo de evento inicial es de

$$RE = 83,875(0,37) + 27,88(0,63) = 48,598$$

Este valor es el rendimiento esperado de llevar a cabo la prueba de mercado y tomar la decisión óptima después de determinar los resultados.

Anteriormente se ha visto que, si no se lleva a cabo la prueba de mercado, la decisión óptima es seleccionar la primera estrategia, y que esa decisión tiene un rendimiento esperado de 40. Claramente, entonces, la realización de la prueba de mercado aumenta el rendimiento esperado en 8.598 euros (=48.598€ - 40.000€). Aunque la prueba de mercado no es totalmente fiable, aun así tiene cierto valor. De manera bastante apropiada, a esta cantidad se le llama **valor esperado de la información de muestra (VEIM)**.

El VEIM es un límite superior en la cantidad que deberíamos estar dispuestos a pagar por esta información de muestra en particular.

Ahora calculemos el valor esperado de la información perfecta (VEIP). Ya se vio anteriormente que ésta es la cantidad que los dos socios deben estar dispuestos a pagar por información perfecta. Si fuera seguro que la demanda será alta, los dos socios seleccionarían la primera estrategia y disfrutarían de un rendimiento de 175. De manera similar, si el mercado fuera débil, los dos socios seleccionarían la tercera estrategia y obtendrían un rendimiento de 5. ¿Cuánto deben pagar por información perfecta? Dado que la información perfecta revelará que la demanda alta tiene una probabilidad de 0,4 y la demanda baja una probabilidad de 0,6, vemos que

$$VEIP = 175(0,4) + 5(0,6) - 40 = 33$$

La ecuación nos dice que la información perfecta nos dará un aumento esperado de 33.000€ sobre el rendimiento esperado anterior. Éste es el máximo aumento posible en el rendimiento esperado que se puede obtener con nueva información. El valor esperado de la información de muestra es el incremento en el rendimiento esperado que se obtuvo con la información producida en la prueba de mercado. Dado que VEIP = 33 y VEIM = 8,598 podemos ver que la prueba de mercado no es muy eficiente. Si lo fuera, el valor de VEIM sería mucho más cercano al de VEIP. En otras palabras, conforme las probabilidades de una correcta información de muestra aumentan, VEIM se aproxima a VEIP. De hecho, cuando  $P(A|A') = 1$  y  $P(D|B) = 1$ , entonces  $VEIM = VEIP$ .

## 10.9 DECISIONES SECUENCIALES: PROBAR O NO PROBAR

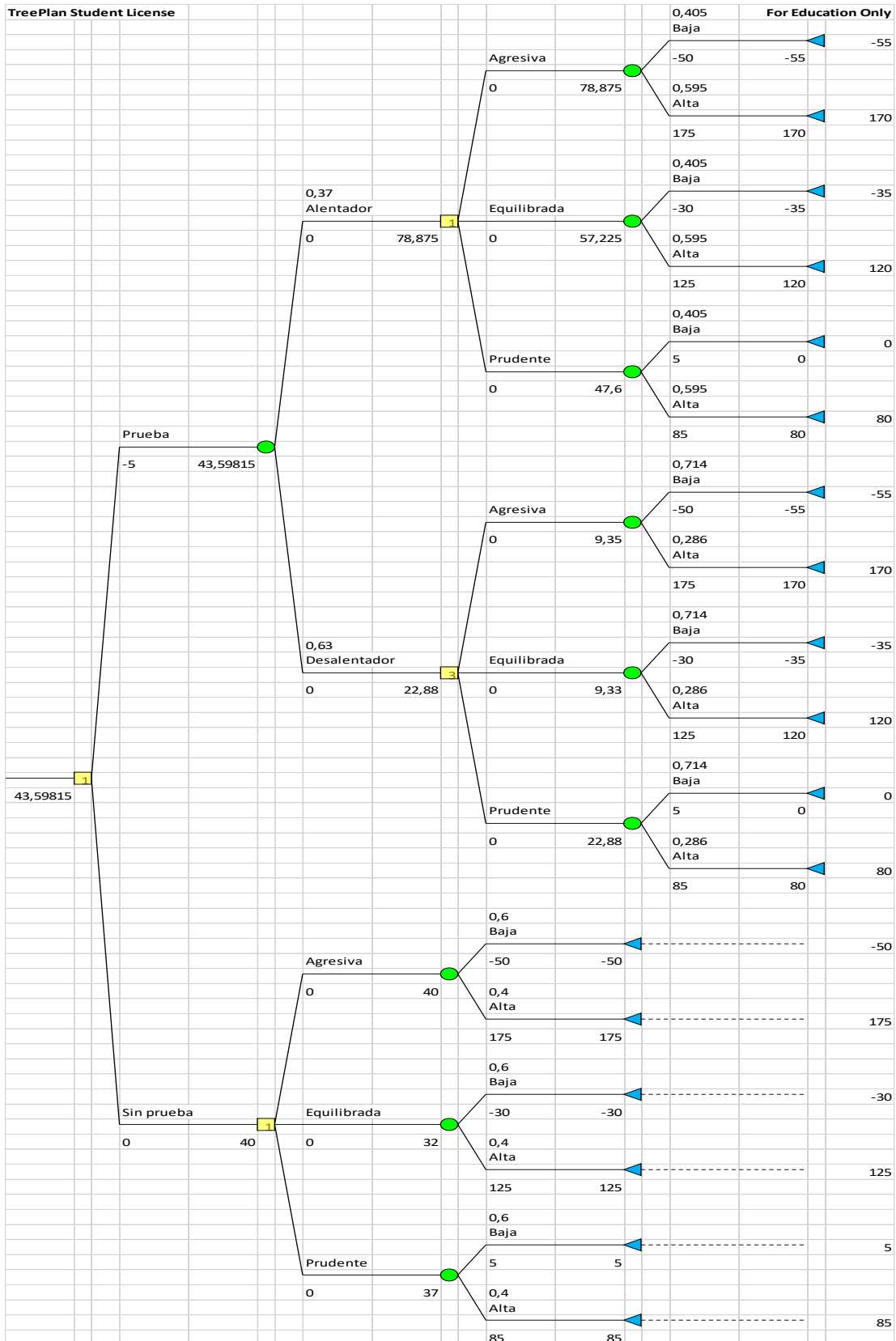
Anteriormente hemos sabido que los dos socios habían decidido que se debería hacer un estudio de investigación de mercados. Entonces consideramos la pregunta de cómo deberían utilizar la información generada por el estudio, para actualizar el modelo de decisión. Al parecer, la decisión de mandar hacer un estudio de mercado es similar a la decisión de adoptar una u otra alternativas estratégicas. Los socios deben considerar cuidadosamente el costo de efectuar el estudio contra la ganancia que podría resultar el tener esa información que el estudio proporcionaría. Suponemos que la prueba de mercado tiene un costo de 5.000€. También está claro que la decisión de hacer o no hacer la prueba de investigación de mercados no es una decisión aislada, ya que, aun haciendo la prueba, los socios todavía deberán elegir entre una de las tres alternativas. Por lo tanto, el valor de efectuar la prueba depende en parte de cómo los dos socios utilizan la información generada por la prueba. En otras palabras, el valor de una decisión inicial depende de una secuencia de decisiones y eventos inciertos que seguirán a la decisión inicial, por ello se denomina un modelo de decisión secuencial.

Creamos un nuevo árbol de decisión incluyendo el probar o no probar, donde la rama superior será el árbol que hemos creado en el apartado anterior con valores terminales ligeramente modificados que representan el costo de la prueba de mercado, y la rama inferior será el primer árbol creado inicialmente sin tener en cuenta la prueba.

Una vez el árbol completo, TreePlan lo resuelve plegándolo. Pliega los nodos circulares (eventos) calculando los rendimientos esperados y los nodos cuadrados (decisiones) seleccionando la decisión que da el rendimiento esperado más elevado.

La estrategia óptima es un plan completo para todo el árbol. Especifica qué acción debe seguirse sin importar cuál de los eventos inciertos ocurrirá. En el primer nodo de decisión, podemos ver que, dado que  $43,598 > 40$ , los dos socios deberían hacer la prueba de mercado, como nos indica el número "1". Si el resultado de la prueba es alentador (A), entonces la alternativa Agresiva es la mejor decisión, ya que es la que da el mayor rendimiento esperado (78,875). De manera similar, si el resultado de la prueba es desalentador (D), entonces la alternativa prudente es la mejor decisión (con un rendimiento esperado de 11,78).

(Excel: Árbol de decisión 3)



## 10.10 EL IMPACTO DE LAS UTILIDADES

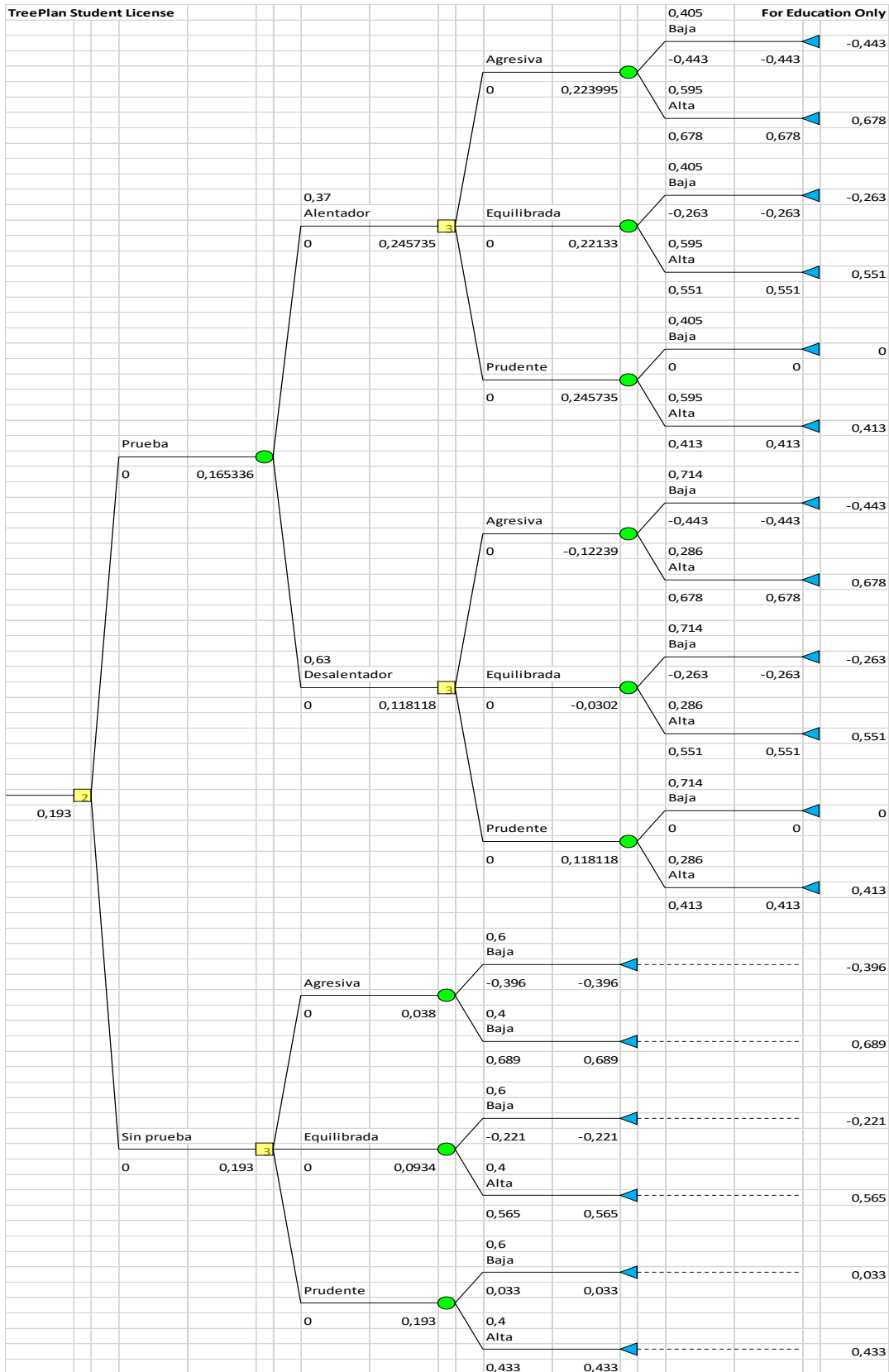
El siguiente paso sería incorporar las utilidades al árbol de decisiones. Las utilidades de todas las retribuciones posibles se pueden calcular fácilmente al haber realizado anteriormente la función de utilidad. Hemos podido ver en esa gráfica de “utilidad contra retribución” que los dos socios son adversos al riesgo, ya que, por ejemplo, la utilidad adicional de incrementar la retribución de 20 a 30 es de 0,056, en tanto que la utilidad adicional de incrementar la retribución de 5 a 15 es mayor (0,063).

Utilidad de las retribuciones	
RETRIBUCIÓN	UTILIDAD
-55	-0,443
-50	-0,396
-35	-0,263
-30	-0,221
0	0
5	0,033
80	0,413
85	0,433
120	0,551
125	0,565
170	0,678
175	0,689

Para incorporar las utilidades al árbol de decisiones, todo lo que se necesita hacer es reemplazar las retribuciones del árbol por sus utilidades y plegar el árbol como se ha hecho anteriormente.

Resulta que con estas utilidades la decisión óptima sería no hacer la prueba, como nos indica el número “2” en el primero nodo cuadrado de decisión. Y además, en caso de hacerse, si ésta es alentadora, se prefiere ahora la tercera alternativa (Prudente), porque tiene una utilidad esperada mayor que las otras dos. A pesar de que la retribución máxima de la primera alternativa es mayor que la de la tercera, la retribución mínima de la tercera es mayor que la de la primera. La combinación de la función de utilidad y las probabilidades *a posteriori* dadas ahora causa una utilidad esperada de la alternativa prudente mayor que la de las otras dos.

(Excel: Árbol de decisión 4)



## 11. Caso práctico 2

Una empresa se está planteando el lanzamiento de un nuevo producto al mercado, en base a un cierto conocimiento sobre una presumible demanda. La primera duda que les surge trata sobre si introducir el producto a escala internacional o hacerlo sólo nacionalmente. Una vez decidido esto, si la demanda a nivel nacional es considerable, deberán plantearse también si la distribución se hará a nivel internacional o no. En caso de introducir el producto a nivel internacional y vieran que los resultados son favorables, tendrían en mente la posibilidad de contratar más ingenieros con el fin de desarrollar y mejorar el producto, incluso barajan la posibilidad de abrir posteriormente un centro especializado en el ámbito, con el fin de ganar una diferenciación considerable respecto a posibles competidores y una posición ventajosa en el mercado.

Los datos de la demanda que a priori manejan los inversores son los siguientes:

<b>Demanda nacional</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Tendencia demanda internacional</b>
Alta	65%	60% de que la demanda internacional sea alta
Baja	35%	20% de que la demanda internacional sea alta

<b>Demanda internacional</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Tendencia año 1</b>	<b>Tendencia año 2</b>
Alta nacional y alta internacional	40%	75% que se mantenga	40% que se mantenga
Alta nacional y baja internacional	20%	—	—
Baja nacional y alta internacional	10%	—	—
Baja nacional y baja internacional	30%	—	—

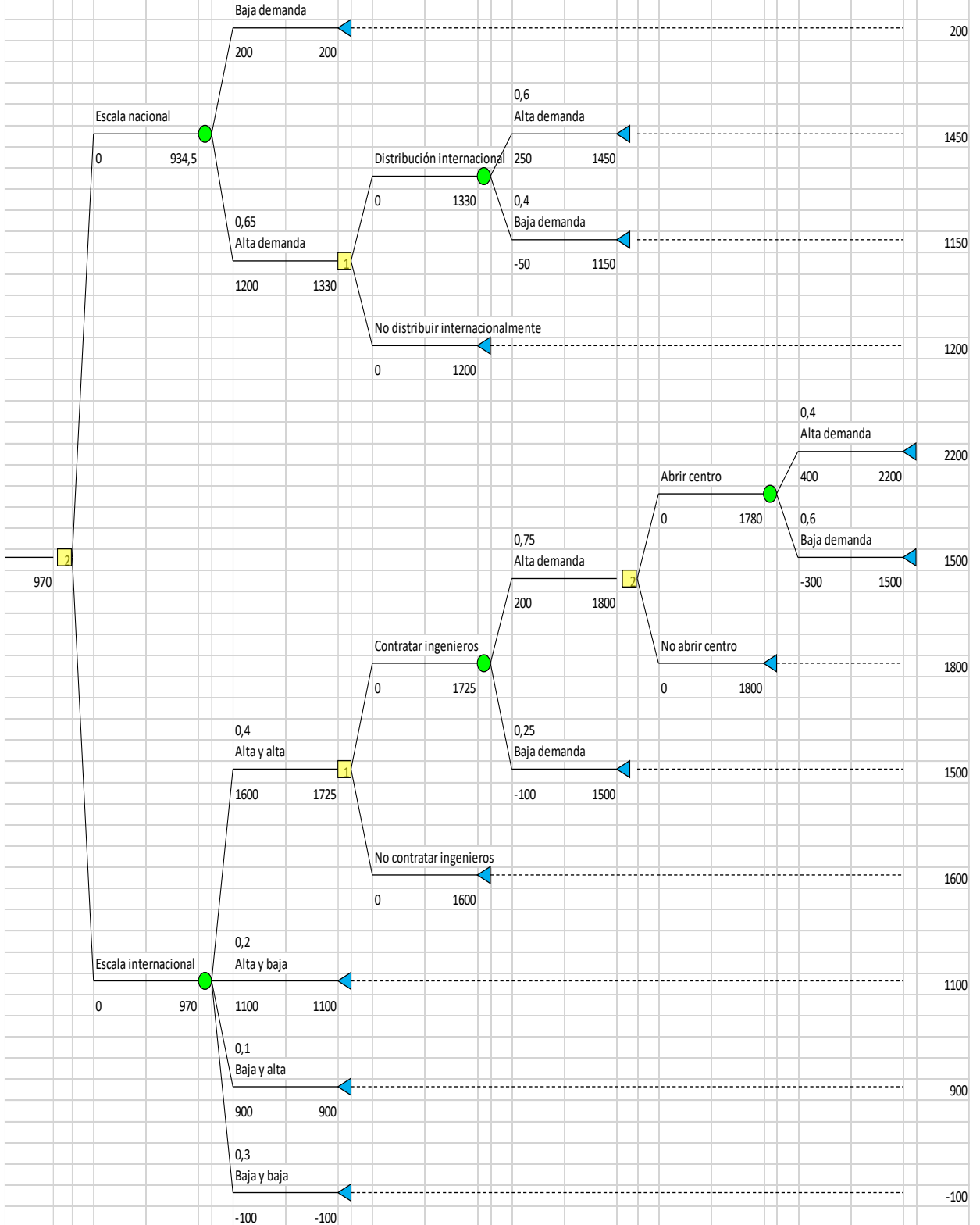
También se ha hecho una estimación de los ingresos y costes de las posibles alternativas para después calcular las retribuciones de cada una:

INGRESOS (miles de €)	COSTES (miles de €)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Escala nacional</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Con demanda alta: <b>1.700</b></li> <li>○ Con demanda baja: <b>700</b></li> </ul> </li> <li>- <b>Distribución internacional</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Con demanda alta: <b>400</b></li> <li>○ Con demanda baja: <b>100</b></li> </ul> </li> <li>- <b>Escala internacional</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Con demanda nacional e internacional altas: <b>2.500</b></li> <li>○ Con demanda nacional alta e internacional baja: <b>2.000</b></li> <li>○ Con demanda nacional baja e internacional alta: <b>1.800</b></li> <li>○ Con demanda nacional e internacional bajas: <b>800</b></li> </ul> </li> <li>- <b>Contratar ingenieros</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Con demanda alta: <b>400</b></li> <li>○ Con demanda baja: <b>100</b></li> </ul> </li> <li>- <b>Abrir centro especializado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Con demanda alta: <b>1000</b></li> <li>○ Con demanda baja: <b>300</b></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducir a escala nacional: <b>500</b></li> <li>- Distribución internacional: <b>150</b></li> <li>- Introducir a escala internacional: <b>900</b></li> <li>- Contratar ingenieros: <b>200</b></li> <li>- Abrir centro especializado: <b>600</b></li> </ul>

RETRIBUCIONES (INGRESOS – COSTES) (miles de €)

- **Escala nacional**
  - Con demanda alta: **1.200**
  - Con demanda baja: **200**
- **Distribución internacional**
  - Con demanda alta: **250**
  - Con demanda baja: **-50**
- **Escala internacional**
  - Con ambas demandas altas: **1.600**
  - Con demanda nacional alta e internacional baja: **1.100**
  - Con demanda nacional baja e internacional alta: **900**
  - Con ambas demandas bajas: **-100**
- **Contratar ingenieros**
  - Con demanda alta: **200**
  - Con demanda baja: **-100**
- **Abrir centro especializado**
  - Con demanda alta: **400**
  - Con demanda baja: **-300**





Después de calcular las retribuciones creamos el árbol por medio de TreePlan y añadimos los datos calculados, tanto las retribuciones como las probabilidades en cada caso.

TreePlan calcula los resultados plegando el árbol, como vemos en la primera decisión que debemos tomar, si introducir el producto nacionalmente o internacionalmente, nos recomienda introducirlo a escala internacional, indicándonos el número "2" en el primer nodo inicial de decisión. En caso de elegir la opción de introducirlo nacionalmente y viéramos que la demanda resulta ser alta, en la segunda decisión a tomar sobre si distribuir el producto a nivel internacional o no, vemos que nos marca que sí lo hagamos mediante el número "2" en el nodo de esa decisión.

Volviendo a la primera decisión a tomar, si nos dejáramos guiar por introducir el producto tanto a escala nacional como a escala internacional como el programa nos recomienda y resultaran altas las demandas tanto nacionalmente como internacionalmente, deberíamos decidir si contratar más ingenieros para desarrollar el producto, TreePlan nos anima a hacerlo marcándonos el número en el nodo cuadrado.

Finalmente, si contratamos ingenieros y la tendencia de la alta demanda sigue adelante, nos adentraríamos en la decisión de si abrir un centro especializado, en este caso TreePlan nos indica con un "2" que no merecería la pena hacerlo.

## 12. Conclusiones

En este trabajo he tratado de esclarecer nuestra manera de pensar acerca de la incertidumbre y a desarrollar métodos para manejarla en modelos de decisión. Mi objetivo ha sido definir de manera consistente y útil problemas en los cuales la incertidumbre juega un papel importante y aplicar algunas técnicas para la resolución de problemas.

Primero he querido dar unas nociones básicas de la terminología del análisis de decisiones para después dar paso a los tres tipos de modelos de decisión, cada uno de ellos con su criterio acerca del comportamiento de la naturaleza.

He seguido explicando diferentes conceptos y procedimientos que juegan un papel importante a la hora de resolver este tipo de problemas, así como el criterio del pago esperado como principal herramienta, el valor esperado de la información perfecta o la importancia de la utilidad como medida alternativa del aspecto atractivo de cada combinación entre una decisión y un estado de la naturaleza.

Hemos mostrado el mundo de los árboles de decisión como técnica de gran importancia en la práctica a través del uso de un complemento de hoja de cálculo llamado TreePlan, haciendo la introducción a dos conceptos importantes: el uso de nueva información en la toma de decisiones y el análisis de modelos de decisión secuenciales.

Finalmente he puesto en práctica todos los conceptos en un caso práctico donde se reflejan cada uno de los puntos aprendidos y en el cual se aprecia la utilización de todas las herramientas trabajadas para resolver un problema de modelo de decisión bajo riesgo.

Para terminar, he planteado un caso en el que se da una secuencia de decisiones haciendo referencia a las decisiones secuenciales, para apreciar cómo se plasma este tipo de problemas mediante un árbol de decisión.

En conclusión, he interiorizado tanto los conceptos teóricos de la teoría de las decisiones como la utilización de diferentes herramientas y procesos a seguir, haciendo consciencia de lo útil y productivo que puede resultar el uso y conocimiento de estas técnicas a la hora de tomar decisiones en el mundo empresarial.

## Bibliografía

- Eppen, G.D.; Gould, F.J.; Schmidt, C.P.; Moore, Jeffrey H.; Weatherferd, Larry R. (2000): Investigación de operaciones en la ciencia administrativa – Prentice Hall, México
- Hillier, Frederick S.; Hillier, Mark S. (2008): Métodos cuantitativos para la administración – Mc Graw Hill, México
- Arsham, Hossein (1996): Herramientas para el análisis de decisión: Análisis de decisiones riesgosas

**<http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640S/SPANISHP.HTM>**

- Riff, María Cristina (2003), Investigación de operaciones II

**<https://www.inf.utfsm.cl/~mcriff/IO2/Materia-IO2.pdf>**

- Levin, Richard I.; Rubin, David S. (2004): Estadística para Administración y Economía – Pearson, México

- El Alabi, Emilio; Milanesi, Gastón (2015): Evolución de las funciones de utilidad para la toma de decisiones, ISSN 1853-2063

- Vitoriano, Begoña (2007): Teoría de la decisión: Decisión con Incertidumbre, Decisión Multicriterio y Teoría de Juegos – Universidad Complutense de Madrid

**<http://www.mat.ucm.es/~bvitoria/Archivos/a dt UCM.pdf>**