

UNIDAD
DIDÁCTICA

5

TOMA DE DECISIONES SIN EXPERIMENTACIÓN. ÁRBOLES DE DECISIÓN

OBJETIVOS DE LA UNIDAD

1. Introducción
2. Toma de decisiones sin experimentación
 - 2.1. Criterios de selección
3. Árboles de decisión

CONCEPTOS BÁSICOS A RETENER

ACTIVIDADES DE AUTOCOMPROBACIÓN

EJERCICIOS VOLUNTARIOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



OBJETIVOS DE LA UNIDAD

En esta Unidad didáctica nos vamos a introducir en la toma de decisiones sin experimentación. En este tipo de problemas se tiene que elegir una de las alternativas disponibles. El resultado de cada una de estas opciones viene determinado por unos factores externos que definen los estados de la naturaleza del problema.

De cara a poder elegir la mejor opción, es necesario conocer las probabilidades existentes a priori de que suceda cada uno de los estados de la naturaleza. A partir de toda esta información se tendrá la matriz de pagos. Para determinar la estrategia elegida se utilizan principalmente los siguientes criterios:

- Maximin.
- Máxima probabilidad.
- Criterio de Bayes.

En la segunda parte de la Unidad se van a estudiar los árboles de decisión, que son una herramienta muy útil cuando existen muchas alternativas para elegir y se ven afectadas por diversos estados de la naturaleza. Un árbol de decisión es una representación gráfica que debe mostrar todas las posibilidades existentes y un valor esperado para cada una de ellas. En función de estos valores esperados y de las probabilidades existentes se va a determinar el valor esperado de cada determinada estrategia. Ya solo quedará seleccionar aquella que tenga mejor valor.

1. INTRODUCCIÓN

En la toma de decisiones sin experimentación se está ante una situación en la que solo está involucrada una parte, que tiene que elegir una de sus alternativas disponibles. El resultado de cada una de estas opciones viene determinado por unos factores externos que definen todos los posibles escenarios que hay que analizar.

De cara a poder elegir la mejor opción, es necesario conocer las probabilidades existentes a priori de que suceda cada uno de los cursos de acción. Tomando como base esta información se obtendrá la matriz de pagos, a partir de la cual se va a determinar la estrategia adoptada. Veamos a continuación los elementos de este tipo de problemas, así como los criterios que se utilizan.

2. TOMA DE DECISIONES SIN EXPERIMENTACIÓN

Los elementos existentes en la toma de decisiones sin experimentación son los siguientes:

- **Estrategias o alternativas.** Son las distintas acciones que se pueden tomar.
- **Estados de la naturaleza.** Los resultados de la estrategia adoptada van a estar influenciados por una serie de factores externos probabilísticos y que van a dar lugar a una serie de escenarios distintos.
- **Probabilidades a priori.** Cada estado de la naturaleza tiene asociada una probabilidad de que suceda.
- **Tabla de pagos.** Son los pagos resultantes en función de la estrategia adoptada y de los posibles estados de la naturaleza existentes.

2.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN

De cara a seleccionar la mejor estrategia se siguen principalmente los siguientes criterios:

- **Maximin.** Se selecciona el mínimo de cada estrategia y se elige el máximo de los mínimos. El decisor hace frente al peor escenario posible para cada estrategia y selecciona aquella que tiene el mejor pago para ese caso. También se conoce como **criterio del pago máximo**.
- **Máxima probabilidad.** Se selecciona aquella estrategia que tenga un mejor pago atendiendo únicamente a aquel estado de la naturaleza que tenga mayor probabilidad de ocurrir.
- **Criterio de Bayes.** También conocido como **regla de Bayes**, se basa en asignar a cada estrategia un pago y elegir aquel que sea mayor. Este pago se obtiene con la suma ponderada de cada uno de los estados de la naturaleza. También se puede obtener el punto de equilibrio según el criterio de Bayes. Este punto informa de la probabilidad a priori, que hace que cuando se tienen dos posibles estrategias sea indiferente elegir una o la otra.

EJEMPLO 1. Toma de decisiones sin experimentación

Una compañía dispone de un terreno en una zona no muy estable tectónicamente. Se está planteando la posibilidad de construir una nueva planta industrial en ese terreno, lo que daría unos beneficios de 50 millones en los próximos 10 años en caso de que no hubiera seísmos, pero reportaría unas pérdidas medias de 30 millones si hubiera un seísmo de grado mayor a 5 durante ese tiempo.

También tiene la opción de alquilar el terreno durante los 10 años, siendo el beneficio de esta opción de 10 millones.

Las probabilidades a priori de que exista un seísmo de grado mayor a 5 son del 20 % en los próximos 10 años.

Solución

Las estrategias posibles son:

- Nueva planta industrial.
- Alquilar el terreno.

Y los estados de la naturaleza serán:

- Seísmo. Su probabilidad a priori es de 0,2.
- No seísmo. Su probabilidad a priori es de $1 - 0,2 = 0,8$.

.../...

.../...

La matriz de pagos será:

Matriz de pagos	Seísmo	No seísmo
Nueva planta industrial	- 30	50
Alquilar terreno	10	10
Probabilidad a priori (P)	0,2	0,8

A continuación se van a aplicar los criterios descritos anteriormente:

Maximin. Se selecciona el mínimo de cada estrategia y se elige el máximo de los mínimos.

Matriz de pagos	Seísmo	No seísmo	Maximin
Nueva planta industrial	- 30	50	- 30
Alquilar terreno	10	10	10
Probabilidad a priori (P)	0,2	0,8	

Según el criterio del maximin la mejor opción es alquilar terreno.

Máxima probabilidad. Como la máxima probabilidad la tiene el que no haya seísmo, se toman en cuenta únicamente esos valores, seleccionando el máximo.

Matriz de pagos	Seísmo	No seísmo	Máxima probabilidad
Nueva planta industrial	- 30	50	50
Alquilar terreno	10	10	10
Probabilidad a priori (P)	0,2	0,8	

Según el criterio de la máxima posibilidad la mejor opción es nueva planta industrial.

.../...

.../...

Criterio de Bayes. Se tiene que obtener para cada estrategia un pago ponderado en función de las probabilidades:

- Para nueva planta industrial: $-30 \cdot 0,2 + 50 \cdot 0,8 = 34$.
- Para alquilar terreno: $10 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,8 = 10$.

Matriz de pagos	Seísmo	No seísmo	Bayes
Nueva planta industrial	- 30	50	34
Alquilar terreno	10	10	10
Probabilidad a priori (P)	0,2	0,8	

Según el criterio de Bayes la mejor opción es nueva planta industrial.

De cara a analizar a partir de qué probabilidad a priori interesa una opción o la otra, se va a asignar una probabilidad p al seísmo y $(1 - p)$ al no seísmo:

Matriz de pagos	Seísmo	No seísmo	Bayes
Nueva planta industrial	- 30	50	$-30p + 50(1 - p) = 50 - 80p$
Alquilar terreno	10	10	$10p + 10(1 - p) = 10$
Probabilidad a priori (P)	p	$(1 - p)$	

Igualando los dos valores:

$$50 - 80p = 10 \rightarrow p = 40/80 = 0,5$$

Si $p < 0,5$, interesa la nueva planta industrial, y si $p > 0,5$, lo más conveniente es alquilar el terreno. El punto de equilibrio es para $p = 0,5$.

3. ÁRBOLES DE DECISIÓN

Una forma muy útil de representar un problema de decisión son los árboles de decisión. Son una representación gráfica en forma de árbol que contiene ramas y varios nive-

les de subramas. La idea es que se puedan representar todas las posibilidades existentes en el árbol mediante una rama final y asignar un valor a cada una de estas ramas. Para lograrlo se hace uso de dos tipos de nodos:

- **Nodos de decisión.** Se representan por un cuadrado y son aquellos en los que el decisor selecciona una alternativa u otra en función del valor que tenga cada una de ellas.
- **Nodos de probabilidad.** Representan las diversas probabilidades que pueden suceder en el análisis de la problemática de la decisión. Se representan por un círculo.

Hay que ir obteniendo, a partir de los valores de las ramas finales, los valores de cada una de las ramas en función de las probabilidades asociadas. Cuando todas las ramas y subramas tengan valor, se podrá elegir la mejor alternativa.

A continuación vamos a ver cómo funciona mediante unos ejemplos:

EJEMPLO 2. Árbol de decisión estrategias de mantenimiento

Nuestra empresa se dedica a producir un producto P. Para fabricarlo utiliza la máquina A. Ha vencido el contrato de mantenimiento que se tenía contratado y hay que contratar un nuevo servicio de mantenimiento para esta máquina. Las posibilidades son las siguientes:

- **Alternativa 1 (mantenimiento básico).** No se hace mantenimiento preventivo, sino correctivo. Se arregla una avería en una media de 8 horas laborables desde que se detecta, tiempo en el que la máquina está parada.
- **Alternativa 2 (mantenimiento plus).** Se hace un mantenimiento preventivo, y gracias a él una avería se arregla en 5 horas laborables desde que se detecta, tiempo en el que la máquina está parada.
- **Alternativa 3 (mantenimiento extraplús).** Se hace un mantenimiento preventivo avanzado, logrando arreglar una avería en 3 horas laborables desde que se detecta, tiempo en el que la máquina está parada.

Cada hora que la máquina está parada cuesta a la empresa 400 euros.

Los **costes mensuales** de cada alternativa son los siguientes:

- Alternativa 1: 800 euros/mes más otros 300 euros por cada avería solucionada.
- Alternativa 2: 1.500 euros/mes más otros 150 euros por cada avería solucionada.
- Alternativa 3: 3.000 euros/mes más otros 100 euros por cada avería solucionada.

.../...

.../...

Normalmente se tienen de 0 a 2 averías de la máquina A por mes, siendo las probabilidades las siguientes:

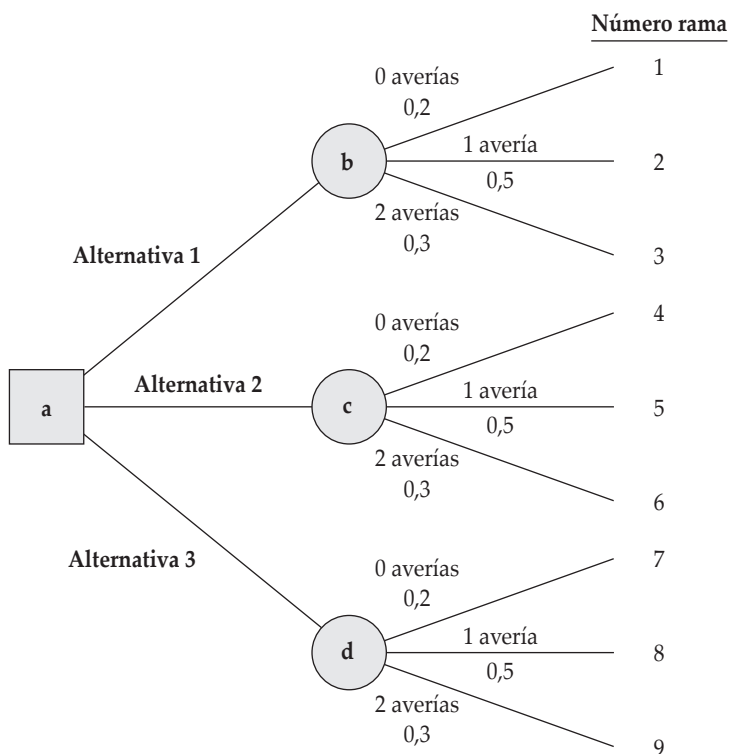
- En un 20 % de las ocasiones no hay averías.
- En un 50 % de las ocasiones hay 1 avería al mes.
- En un 30 % de las ocasiones hay 2 averías al mes.

Realizar el árbol de decisión asociado y explicar cuál sería la mejor alternativa.

Solución

La decisión será tomar una de las tres alternativas, y dentro de cada una habrá que considerar el número de averías que se pueden tener, con su porcentaje.

Figura 1. Árbol de decisión ejemplo 2



.../...

.../...

Se tienen 9 ramas posibles. A continuación vamos a obtener el coste de cada una de las ramas, que se compondrá de los costes de contrato más los costes asociados a tener parada la máquina:

	Número rama	Número averías	%	Costes contrato	Costes máquina parada	Total costes
Alternativa 1	1	0	0,2	800	0	800
	2	1	0,5	1.100	3.200	4.300
	3	2	0,3	1.400	6.400	7.800
Alternativa 2	4	0	0,2	1.500	0	1.500
	5	1	0,5	1.650	2.000	3.650
	6	2	0,3	1.800	4.000	5.800
Alternativa 3	7	0	0,2	3.000	0	3.000
	8	1	0,5	3.100	1.200	4.300
	9	2	0,3	3.200	2.400	5.600

Los costes de contrato son los costes fijos por mes más los de las averías solucionadas.

Los costes de la máquina parada vienen de multiplicar el número de averías que se tienen por el número de horas que está la máquina parada y por el coste de 400 euros por hora.

Veamos, como ejemplo, la rama 2, que es la alternativa 1 con número de averías = 1.

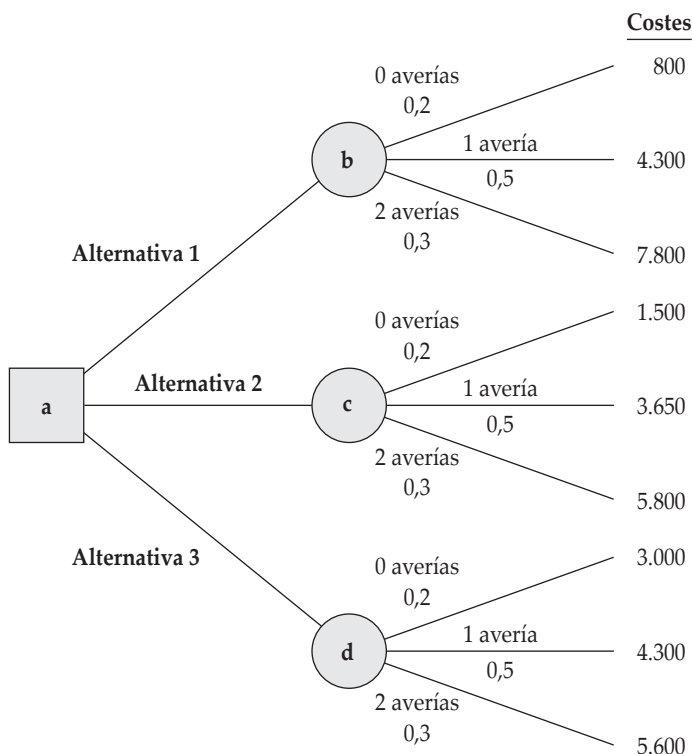
- Costes contrato = $800 + 1 \cdot 300 = 1.100$ euros → 800 euros/mes más otros 300 euros por cada avería solucionada.
- Costes máquina parada = $1 \cdot 8 \cdot 400 = 3.200$ euros → Hay 1 avería, cuya duración es de 8 horas laborables, siendo el coste por hora de la máquina parada de 400 euros.
- Coste total = $1.100 + 3.200 = 4.300$ euros → Serán las ganancias menos todos los costes nuevos.

.../...

.../...

Con estos costes, el árbol de decisión quedará:

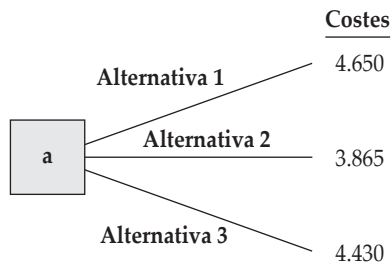
Figura 2. Árbol de decisión ejemplo 2 con costes asociados



Ahora se va a obtener el coste asociado a cada rama, multiplicando los valores de cada rama por sus probabilidades y sumándolos:

- Alternativa 1: $800 \cdot 0,2 + 4.300 \cdot 0,5 + 7.800 \cdot 0,3 = 4.650$ euros.
- Alternativa 2: $1.500 \cdot 0,2 + 3.650 \cdot 0,5 + 5.800 \cdot 0,3 = 3.865$ euros.
- Alternativa 3: $3.000 \cdot 0,2 + 4.300 \cdot 0,5 + 5.600 \cdot 0,3 = 4.430$ euros.

Figura 3. Árbol de decisión ejemplo 2 reducido



.../...

.../...

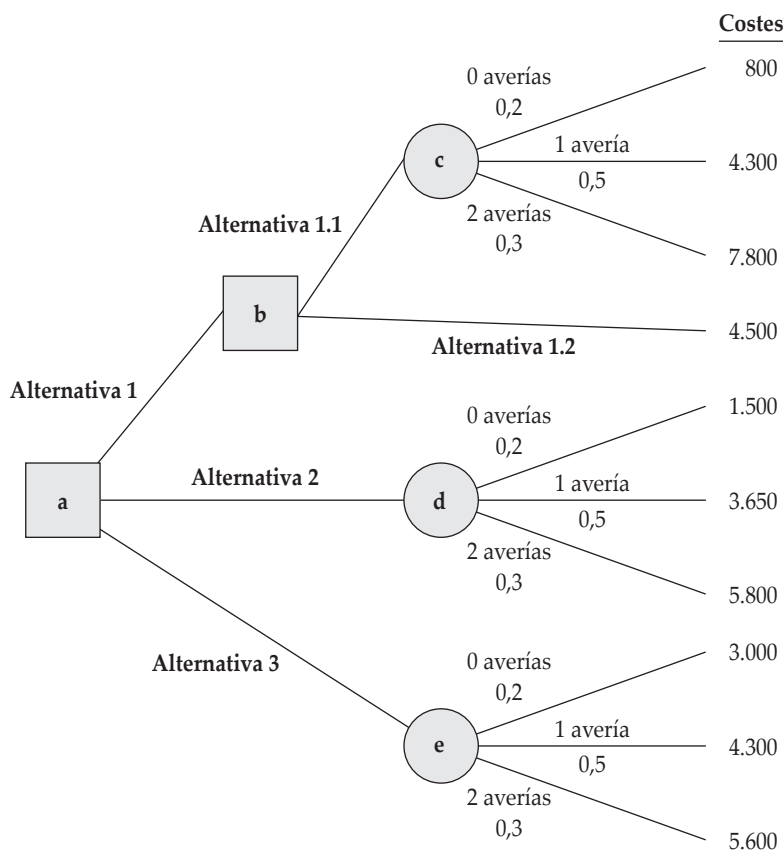
Por tanto, como se busca el mínimo coste, se elegirá la alternativa 2. Si los resultados de las ramas fueran beneficios, evidentemente se elegiría la alternativa que dé mayores beneficios.

Supongamos que en este mismo ejemplo, dentro de la **alternativa 1 (mantenimiento básico)**, nos dan otras dos posibilidades:

- **Alternativa 1.1:** 800 euros/mes más otros 300 euros por cada avería solucionada, que es la que había en un principio.
- **Alternativa 1.2:** tarifa plana de 4.500 euros/mes, independientemente del número de averías, y es un sistema redundante que evita que se pare la producción.

En este caso, el árbol de decisión quedará:

Figura 4. Variante árbol de decisión ejemplo 2

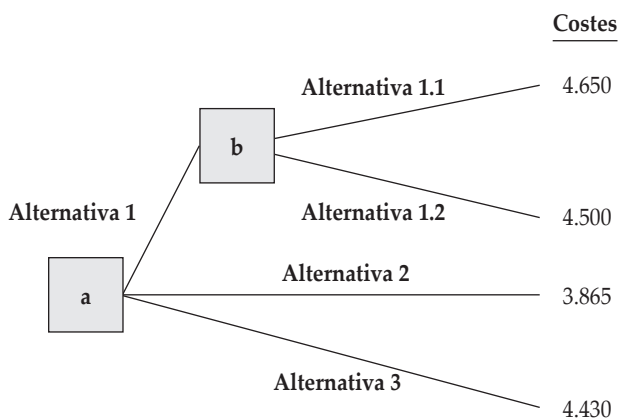


.../...

.../...

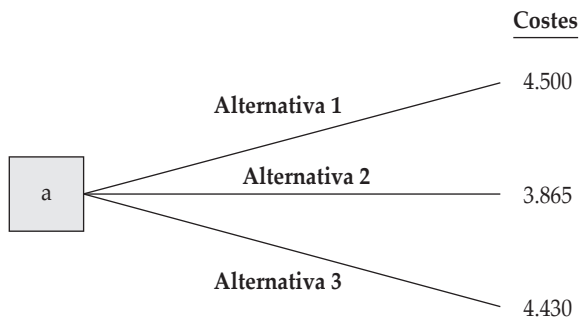
Ahora, reduciéndolo, quedará:

Figura 5. Variante árbol de decisión ejemplo 2 reducido



En la parte superior del árbol, se debe elegir entre la alternativa 1.1 y la alternativa 1.2. Se elegirá la que tenga menores costes, es decir, la alternativa 1.2.

Figura 6. Variante árbol de decisión ejemplo 2 reducido totalmente



Y, finalmente, se ve que deberíamos elegir la alternativa 2, que es la que proporciona menores costes.

EJEMPLO 3. Árbol de decisión ERP

Eres el gerente de dirección de operaciones en tu empresa y debes decidir si implantar un sistema ERP (*enterprise resource planning*) o no dependiendo de los resultados esperados en los próximos tres años:

- Existe una probabilidad del 40 % de que las ventas del sector se mantengan en los tres próximos años.
- Existe una probabilidad del 35 % de que exista un aumento moderado de las ventas durante los tres próximos años.
- Existe una probabilidad del 10 % de que exista un aumento fuerte de las ventas durante los tres próximos años.
- Existe una probabilidad del 15 % de que exista una disminución débil de las ventas durante los tres próximos años.

Los expertos en marketing y ventas han realizado un informe en el que se especifica la nueva cuota de mercado de nuestra empresa en la situación actual para los próximos tres años en función del crecimiento anual esperado y de las ventajas que aportaría el nuevo sistema ERP. Se tiene:

Crecimiento del mercado	Ventas medias esperadas anuales (uds.)	Ventas medias esperadas anuales con ERP (uds.)
Disminución débil	150.000	200.000
Sin crecimiento	210.000	220.000
Aumento moderado	250.000	300.000
Aumento fuerte	270.000	350.000

Los costes de la implantación serían de 1.500.000 euros y los costes de mantenimiento anuales son de 150.000 euros. Los costes de mantenimiento se computarán a partir del año que esté implementado.

El beneficio de venta de cada producto es de 5 euros.

Se estima que existe una probabilidad del 50 % de que el sistema ERP se pueda utilizar desde el segundo año y de un 50 % de que sea a partir del tercer año.

¿Implantarías el nuevo sistema ERP?

Solución

Para realizar el árbol de decisión, lo primero será determinar las ramas principales y las ramas secundarias. Las ramas principales serán la decisión que se quiere tomar, es decir, si implementar el ERP o no implementarlo.

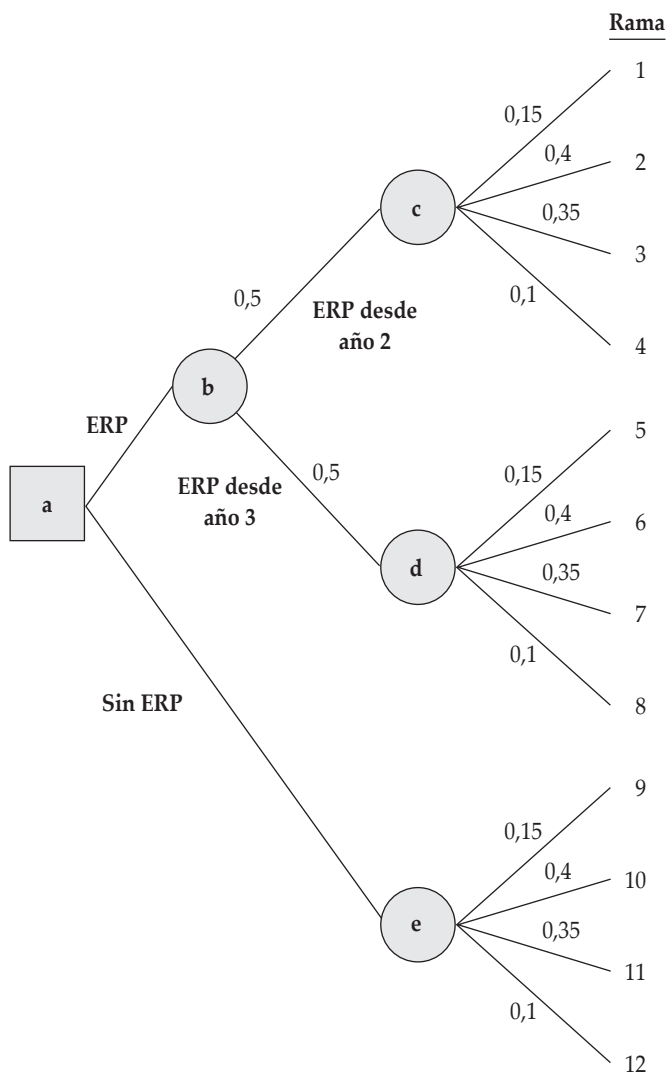
.../...

.../...

Las ramas secundarias saldrán de la opción de implementar el ERP. En ese caso puede estar implementado desde el segundo año o desde el tercero, para lo cual se tienen las probabilidades asociadas.

Luego hay que contemplar en todos los casos el tipo de crecimiento que va a experimentar el mercado. El árbol quedaría de la siguiente manera:

Figura 7. Árbol de decisión ejemplo 3



.../...

.../...

Ahora se van a obtener los valores monetarios de cada rama. Para ello se obtendrá para cada una de ellas los ingresos, los costes asociados, y en función de esto se calcularán los beneficios.

Por ejemplo, para la rama 1, en la que se tiene ERP desde el segundo año y una disminución débil del mercado, se tendría:

- Ingresos: $(150.000 + 200.000 \cdot 2) \cdot 5 = 2.750.000$.

Corresponden a las ventas de 1 año sin ERP más 2 años con ERP.

- Costes: $1.500.000 + 150.000 \cdot 2 = 1.800.000$.

Corresponden al coste de implantar el ERP más 2 años de mantenimiento.

- Beneficios: $2.750.000 - 1.800.000 = 950.000$.

Obteniendo los valores para el resto de las ramas se tendría la siguiente tabla:

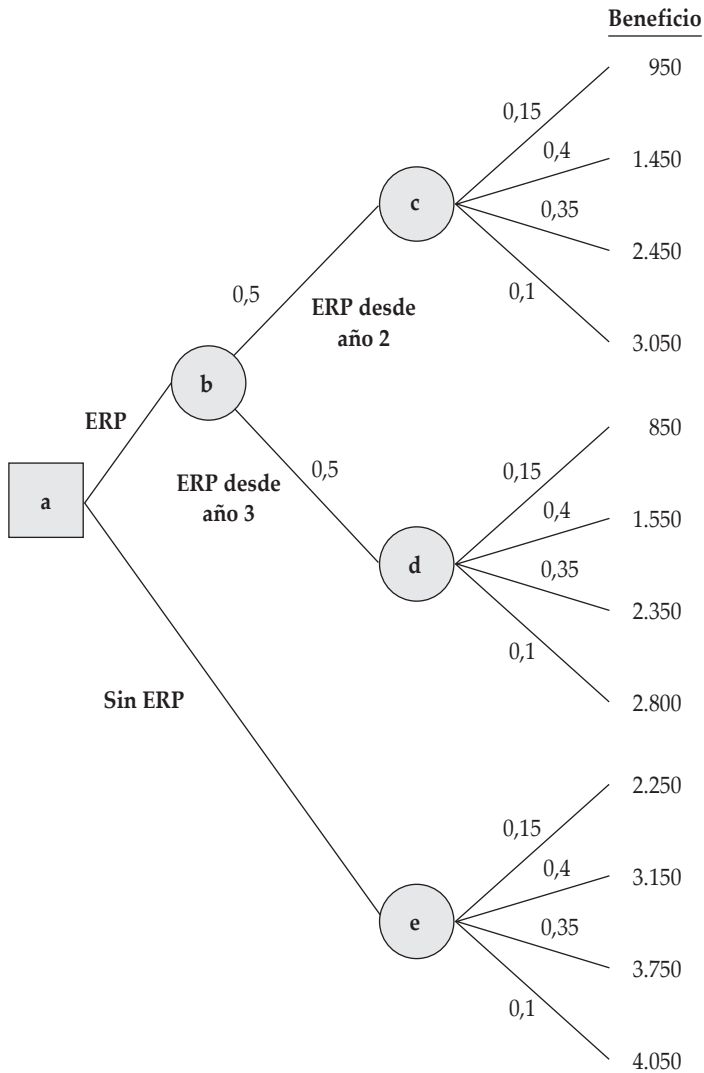
Rama		Crecimiento del mercado	%	Ingresos	Costes	Beneficio
1	ERP desde año 2 (50 %)	Disminución débil	15,00	2.750.000	1.800.000	950.000
2		Sin crecimiento	40,00	3.250.000	1.800.000	1.450.000
3		Aumento moderado ...	35,00	4.250.000	1.800.000	2.450.000
4		Aumento fuerte	10,00	4.850.000	1.800.000	3.050.000
5	ERP desde año 3 (50 %)	Disminución débil	15,00	2.500.000	1.650.000	850.000
6		Sin crecimiento	40,00	3.200.000	1.650.000	1.550.000
7		Aumento moderado ...	35,00	4.000.000	1.650.000	2.350.000
8		Aumento fuerte	10,00	4.450.000	1.650.000	2.800.000
9	Sin ERP	Disminución débil	15,00	2.250.000	0	2.250.000
10		Sin crecimiento	40,00	3.150.000	0	3.150.000
11		Aumento moderado ...	35,00	3.750.000	0	3.750.000
12		Aumento fuerte	10,00	4.050.000	0	4.050.000

.../...

.../...

El árbol de decisión sería, expresando el beneficio en miles de euros:

Figura 8. Árbol de decisión ejemplo 3 con beneficios por rama



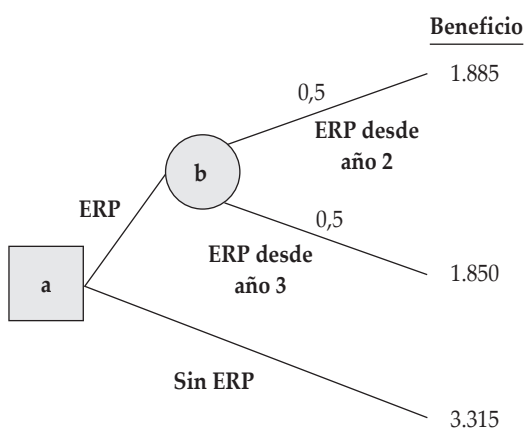
.../...

.../...

Que, multiplicando cada rama por sus respectivos porcentajes y sumando, se obtendría:

- Nodo c: $950 \cdot 0,15 + 1.450 \cdot 0,4 + 2.450 \cdot 0,35 + 3.050 \cdot 0,1 = 1.885$ euros.
- Nodo d: $850 \cdot 0,15 + 1.550 \cdot 0,4 + 2.350 \cdot 0,35 + 2.800 \cdot 0,1 = 1.850$ euros.
- Nodo e: $2.250 \cdot 0,15 + 3.150 \cdot 0,4 + 3.750 \cdot 0,35 + 4.050 \cdot 0,1 = 3.315$ euros.

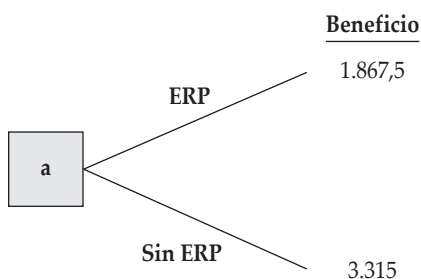
Figura 9. Árbol de decisión ejemplo 3 reducido



Que, reducido totalmente, quedará:

- Nodo b: $1.885 \cdot 0,5 + 1.850 \cdot 0,5 = 1.867,5$ euros.

Figura 10. Árbol de decisión ejemplo 3 reducido totalmente



Por tanto, la mejor opción es no implantar un ERP para un horizonte temporal de tres años.



CONCEPTOS BÁSICOS A RETENER

- Árbol de decisión.
- Criterio de Bayes.
- Estado de la naturaleza.
- Estrategia o alternativa.
- Máxima probabilidad.
- Maximin.
- Nodo.
- Nodo de decisión.
- Nodo de probabilidad.
- Probabilidad a priori.
- Rama principal.
- Rama secundaria.
- Tabla de pagos.
- Toma de decisiones sin experimentación.
- Valor esperado



ACTIVIDADES DE AUTOCOMPROBACIÓN

A partir del contenido de la presente Unidad didáctica, se propone la realización de la siguiente actividad de autocomprobación por parte del alumno, como ejercicio general de repaso y asimilación de la información básica proporcionada por el texto.

Enunciado

El propietario del restaurante italiano Il Bambino está pensando en ampliar la cocina y la zona de mesas, ya que tiene el restaurante prácticamente lleno todas las noches. En la actualidad cuenta con 10 mesas para clientes y atiende de media a 3 personas por mesa. Cada mesa se atiende dos veces por noche, ya que, a mitad de la noche, salen unos clientes y entran otros.

El restaurante abre 300 noches al año.

Por cada cena servida se obtienen unos ingresos de unos 20 euros de media, mientras que los costes de materia prima son de 6 euros.

El propietario se ha planteado las siguientes posibilidades de acción y quiere evaluarlas para los próximos tres años:

- **Alternativa 1.** Aumentar el número de mesas a 15 y ampliar la cocina para poder atender ese nuevo número de mesas. El coste de esta opción es de 50.000 euros.
- **Alternativa 2.** Aumentar el número de mesas a 20, no ampliar la cocina y subcontratar con un servicio industrial de *catering* el número de menús que generan las 10 nuevas mesas. El coste de un menú del *catering* es de 15 euros. El coste de esta opción sería de 10.000 euros, más la contratación de un nuevo camarero con un coste de 20.000 euros al año.
- **Alternativa 3.** Obtener una licencia del ayuntamiento para poner una terraza durante todo el año para 8 mesas, que tendría un coste anual de 5.000 euros, y contratar un nuevo camarero con un coste de 20.000 euros al año. El coste del mobiliario de la terraza es de 8.000 euros. El precio medio del menú en terraza sería de 25 euros. Hay un 50 % de probabilidades de que la terraza se abra de media 130 días al año; un 30 % de probabilidades de abrir de media 160 días, y un 20 % de abrir de media 100 días.

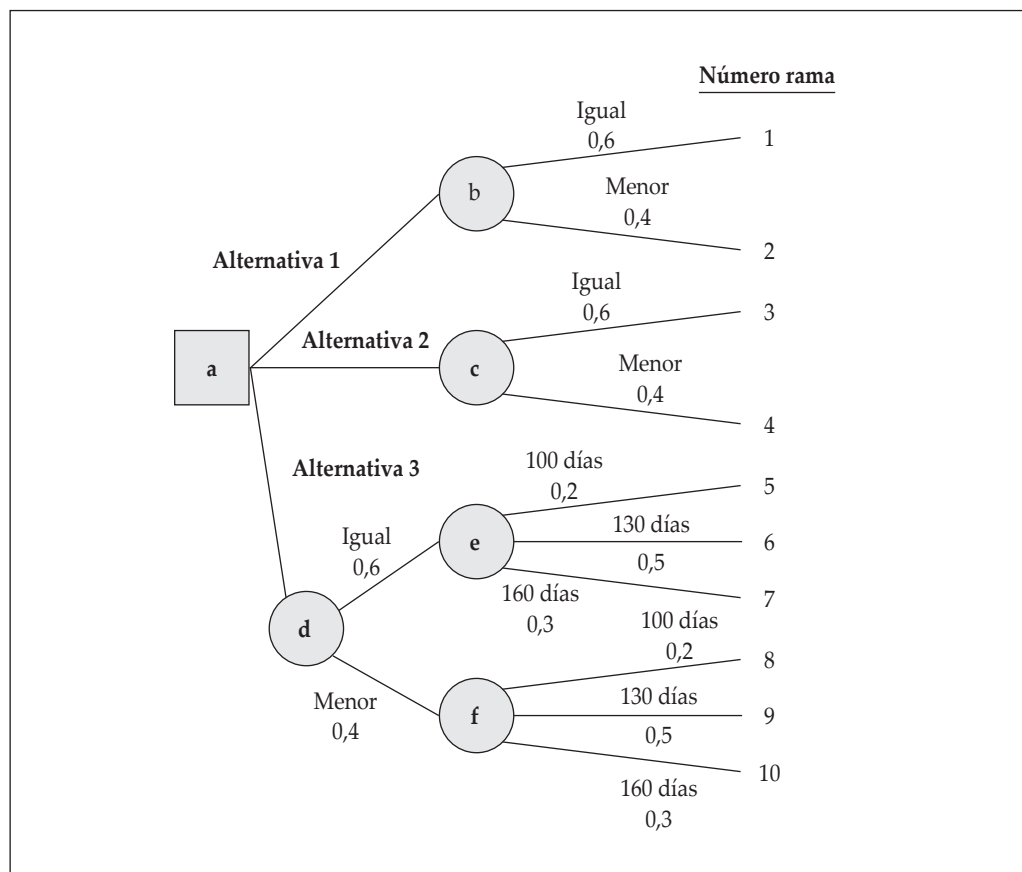
Debido a la coyuntura actual se estima para los próximos tres años que hay una probabilidad del 60 % de que la ocupación media continúe igual y del 40 % de que la ocupación media baje a 2 personas por mesa.

¿Qué opción parece la más interesante?

Considerar en los cálculos únicamente las tres mejoras propuestas, sin tener en cuenta las 10 mesas que ya tiene.

- **Alternativa 1.** Aumentar el número de mesas a 15 y ampliar la cocina para poder atender ese nuevo número de mesas.
- **Alternativa 2.** Aumentar el número de mesas a 20, no ampliar la cocina y subcontratar con un servicio industrial de *catering* el número de menús que generan las 10 nuevas mesas.
- **Alternativa 3.** Obtener una licencia del ayuntamiento para poner una terraza durante todo el año para 8 mesas.

Figura 11. Árbol de decisión actividad de autocomprobación



Como nodos secundarios para las tres alternativas habrá que considerar la probabilidad de que la ocupación media continúe igual.

Para la alternativa 3, habrá otro nivel de ramas en función de los días al año que puede llover. Ahora habrá que calcular los beneficios de cada una de las ramas finales (de la 1 a la 10) en función de sus ingresos, sus costes variables y los costes fijos.

Por ejemplo, para la rama 1, que corresponde a la alternativa 1 con una ocupación media igual, hay 3 clientes por mesa, siendo el número de nuevas mesas de 5. Por tanto, en cada turno hay 15 clientes. Como hay dos turnos por noche, en total habrá 30 clientes por noche.

Como por cada cena servida se obtienen unos ingresos de unos 20 euros de media, mientras que los costes de materia prima son de 6 euros, hay un beneficio de 14 euros. Por tanto, el beneficio derivado de los menús por noche será de $30 \cdot 14 = 420$ euros. Como se abren 300 noches al año, los beneficios derivados de los menús por año serán $300 \cdot 420 = 126.000$ euros.

El coste fijo de esta alternativa, en que se incurre solo el primer año, es de 50.000 euros, no considerándose que tenga asociados nuevos costes anuales.

Por tanto, los beneficios totales asociados a los 3 años serán: $126.000 \cdot 3 - 50.000 = 328.000$ euros.

Otro ejemplo sería la rama 9, que es para la alternativa 3 de poner una terraza, con la ocupación media menor, y pudiendo abrir 130 días al año esa terraza. Hay 2 clientes por mesa, siendo el número de nuevas mesas de 8. Por tanto, en cada turno hay 16 clientes. Como hay dos turnos por noche, en total habrá 32 clientes por noche.

Como por cada cena servida se obtienen unos ingresos de unos 25 euros de media, mientras que los costes de materia prima son de 6 euros, hay un beneficio de 19 euros. Por tanto, el beneficio derivado de los menús por noche será de $32 \cdot 19 = 608$ euros. Como se abren 130 noches al año, los beneficios derivados de los menús por año serán $130 \cdot 608 = 79.040$ euros.

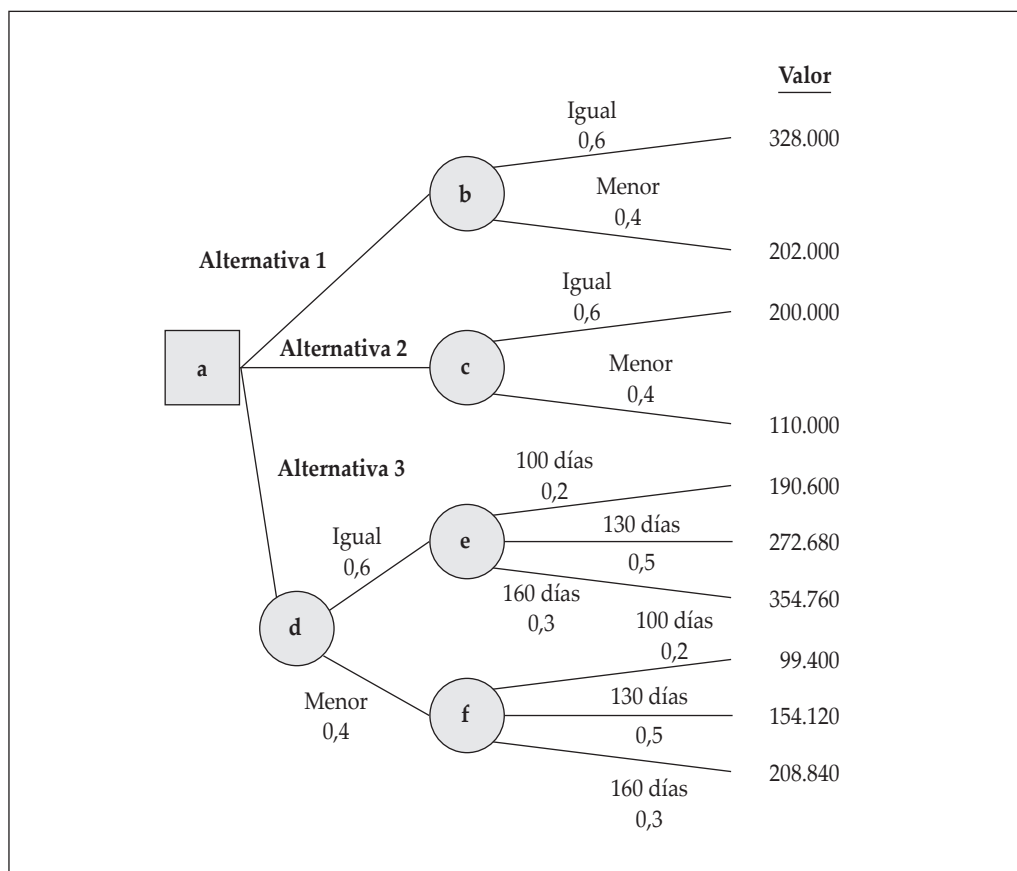
El coste fijo de esta alternativa, en que se incurre solo el primer año, es de 8.000 euros por el mobiliario, y tiene asociados unos nuevos costes anuales de 5.000 euros por la licencia anual más 20.000 euros del nuevo camarero.

Por tanto, los beneficios totales asociados a los 3 años serán: $79.040 \cdot 3 - 8.000 - 25.000 \cdot 3 = 154.120$ euros.

El detalle del resto de las ramas está en la siguiente tabla:

Rama		Número días	Prob.	Cientes/ mesa	Número mesas	Número clientes/ noche	Beneficio menús/ noche	Beneficio menús/ año	Coste	Nuevo coste/año	Beneficio por tres años
	1. Aumentar número de mesas a 15										
1	Ocupación media igual (60 %) ...	300	0,6	3	5	30	420	126.000	50.000	0	328.000
2	Ocupación media menor (40 %) ..	300	0,4	2	5	20	280	84.000	50.000	0	202.000
	2. Aumentar número de mesas a 20 y catering										
3	Ocupación media igual (60 %) ...	300	0,6	3	10	60	300	90.000	10.000	20.000	200.000
4	Ocupación media menor (40 %) ..	300	0,4	2	10	40	200	60.000	10.000	20.000	110.000
	3. Terraza (8 mesas más)										
	Ocupación media igual (60 %) ..		0,6	3							
5	Abre de media 100 días al año ...	100	0,2	3	8	48	912	91.200	8.000	25.000	190.600
6	Abre de media 130 días al año ...	130	0,5	3	8	48	912	118.560	8.000	25.000	272.680
7	Abre de media 160 días al año ...	160	0,3	3	8	48	912	145.920	8.000	25.000	354.760
	Ocupación media menor (40 %)		0,4	2							
8	Abre de media 100 días al año ...	100	0,2	2	8	32	608	60.800	8.000	25.000	99.400
9	Abre de media 130 días al año ...	130	0,5	2	8	32	608	79.040	8.000	25.000	154.120
10	Abre de media 160 días al año ...	160	0,3	2	8	32	608	97.280	8.000	25.000	208.840

Figura 12. Árbol de decisión actividad de autocomprobación con valor esperado



La alternativa 1 tendrá un valor de $328.000 \cdot 0,6 + 202.000 \cdot 0,4 = 277.600$ euros.

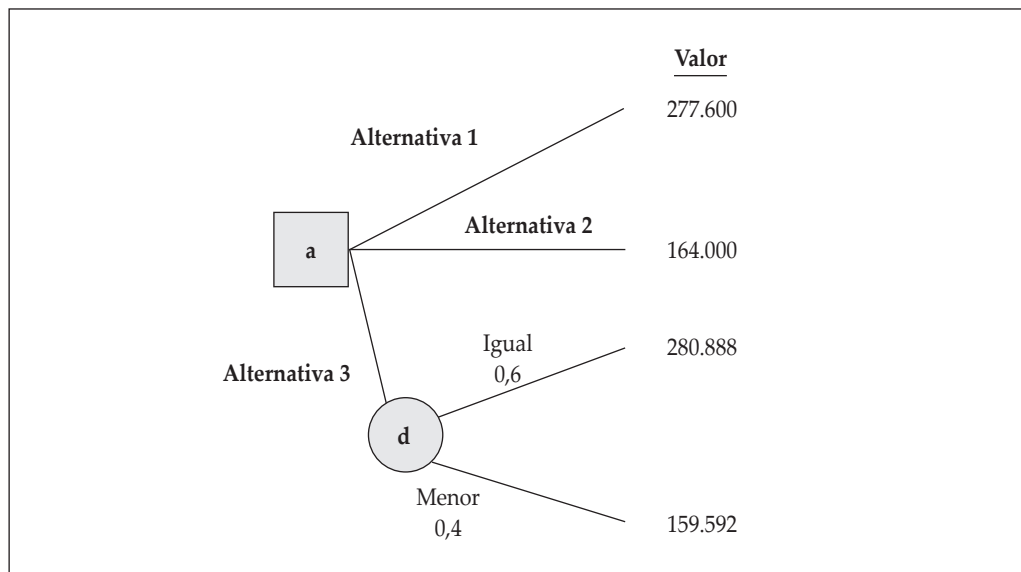
La alternativa 2 tendrá un valor de $200.000 \cdot 0,6 + 110.000 \cdot 0,4 = 164.000$ euros.

Para la alternativa 3, habrá que decidir primero en función de los días que puede abrir la terraza:

- Para una ocupación media igual, $190.600 \cdot 0,2 + 272.680 \cdot 0,5 + 354.760 \cdot 0,3 = 280.888$ euros.
- Para una ocupación media menor, $99.400 \cdot 0,2 + 154.120 \cdot 0,5 + 208.840 \cdot 0,3 = 159.592$ euros.

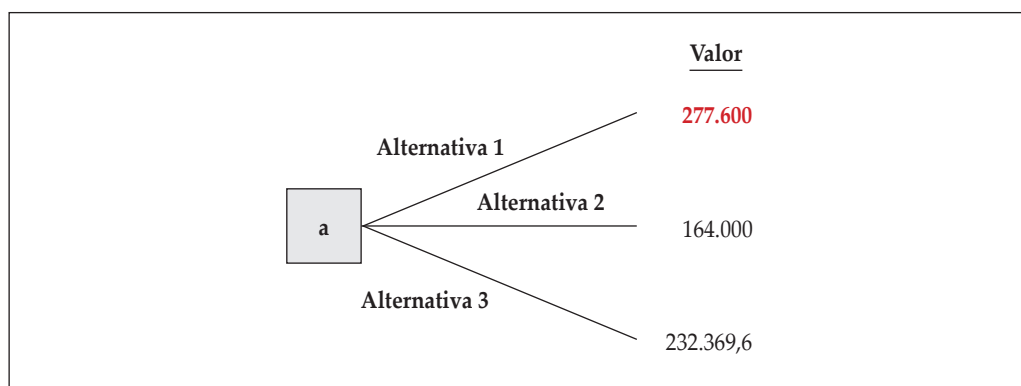
El diagrama reducido quedará de la siguiente forma:

Figura 13. Árbol de decisión actividad de autocomprobación reducido



El valor de la alternativa 3 será $280.888 \cdot 0,6 + 159.592 \cdot 0,4 = 232.369,6$ euros

Figura 14. Árbol de decisión actividad de autocomprobación reducido totalmente



Por tanto, la mejor opción, siguiendo exclusivamente los criterios monetarios, sería la alternativa 1, en la que se tendría un pago de 277.600 euros.



EJERCICIOS VOLUNTARIOS

Tras el estudio de esta Unidad didáctica, el estudiante puede hacer, por su cuenta, una serie de ejercicios voluntarios, como los siguientes:

1. Para la toma de decisiones sin experimentación, ¿qué criterios se suelen usar?
2. ¿En qué consiste el criterio de Bayes?
3. ¿Qué tipos de nodos existen en un árbol de decisión?
4. ¿Qué son los estados de la naturaleza?



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Básica

CÓRDOBA, M.: *Metodología para la toma de decisiones*, Delta Publicaciones, Madrid, 2004.

HILLIER, F. S. y LIEBERMAN, G. J.: *Introducción a la investigación de operaciones*, McGraw-Hill, 2010.

SERRA DE LA FIGUERA, D.: *Métodos cuantitativos para la toma de decisiones*, Gestión 2000, 2004.

TAHA, H. A.: *Investigación de operaciones*, México, Editorial Pearson, 2004.

Avanzada

BRONSON, R. y NAADIMUTHU, G.: *Schaum's outlines of theory and problems of operations research*, New York, McGraw-Hill, 1982.

DIXIT, A. K. y NALEBUFF, B. J.: *El arte de la estrategia*, Antoni Bosch Editor, 2010.

MUÑOZ, B. y RIVEROLA, J.: *Del buen pensar y mejor hacer*, México, Editorial McGraw-Hill, 2003.

RÍOS-INSUA, S.; MATEOS, A.; BIELZA, M.^a C. y JIMÉNEZ, A.: *Investigación operativa*, Centro de Estudios Ramón Areces, 1996.

