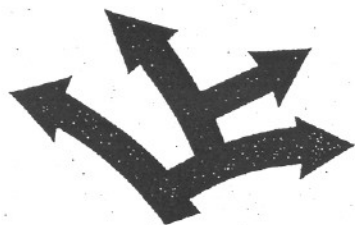


Análisis de sensibilidad y decisiones de valor esperado



En este capítulo se incluyen tres temas diferentes, pero relacionados sobre selección de alternativas. Puesto que las secciones se desarrollan naturalmente sobre las anteriores, el lector puede incluir todo el material que sea de su interés y de acuerdo con el tiempo que tenga para dedicarle. Las primeras tres secciones amplían nuestra capacidad para realizar un *análisis de sensibilidad* para una estimación o alternativa completa. Las secciones 19.4 y 19.5 proporcionan una base elemental de cálculos de *valor esperado* para las secuencias del flujo de efectivo.

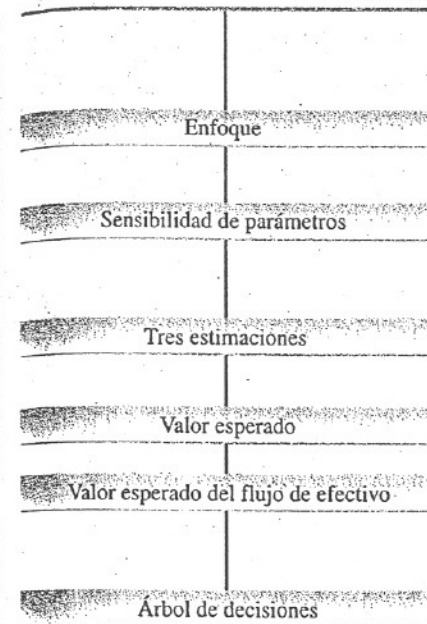
Después de esta muy breve introducción a la probabilidad y al cálculo de un valor esperado, se analiza un segundo método para considerar la variación y el riesgo. Éste es el desarrollo y uso de un *árbol de decisiones* para tomar una serie de decisiones que consideran múltiples alternativas con resultados económicos y probabilidades estimadas.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Propósito: Realizar un análisis de sensibilidad sobre uno o más parámetros utilizando una medida de valor seleccionada y desarrollar un árbol de decisiones para determinar el camino más económico entre las diversas alternativas relacionadas.

Este capítulo ayudará al lector a:

1. Entender el enfoque aplicado al análisis de sensibilidad.
2. Utilizar una medida de valor particular para explicar la sensibilidad de uno o más parámetros.
3. Seleccionar la alternativa más económica utilizando tres valores para una estimación.
4. Calcular el valor esperado de una variable.
5. Determinar la viabilidad de una alternativa utilizando valores esperados de los flujos de efectivo.
6. Construir un árbol de decisiones y resolverlo para el mejor camino de decisión.



19.1 ENFOQUE DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

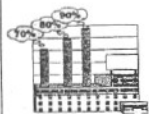
El análisis económico utiliza estimaciones de sucesos futuros para ayudar a quienes toman decisiones. Dado que las estimaciones futuras siempre tienen alguna medida de error, hay imprecisión en las proyecciones económicas. El efecto de la variación puede determinarse mediante el análisis de sensibilidad. Algunos de los parámetros o factores comunes para hallar la sensibilidad son la TMAR, las tasas de interés, las estimaciones de vida, los periodos de recuperación para fines tributarios, todo tipo de costos, ventas y muchos otros factores. Generalmente, se varía un factor a la vez y se supone que hay independencia con otros factores. Este supuesto no es correcto por completo en situaciones del mundo real, pero es práctico puesto que en general no es posible para considerar en forma precisa las dependencias reales.

El análisis de sensibilidad, en sí mismo es un estudio realizado en general en unión con el estudio de ingeniería económica; determina la forma como una medida de valor —VP, VA, TR o B/C— y la alternativa seleccionada se verán alteradas si un factor particular o parámetro varía dentro de un rango establecido de valores. En este capítulo se utiliza el término parámetro, no factor. Por ejemplo, la variación en un parámetro como la TMAR no alteraría la decisión de seleccionar una alternativa cuando todas las alternativas comparadas retornan más de la TMAR; así, la decisión es relativamente insensible a dicho parámetro. Sin embargo, la variación en el valor de n puede indicar que la selección de alternativas es muy sensible a la estimación de la vida del activo.

Generalmente, las variaciones en la vida, en los costos anuales y recaudos resultan de variaciones en el precio de venta, de operación a diferentes niveles de capacidad, de la inflación, etc. Por ejemplo, si un nivel de operación del 90% de la capacidad de sillas de una aerolínea se compara con el 50% en una ruta internacional nueva, el costo de operación y el recaudo por milla de pasajero aumentará, pero es probable que la vida anticipada disminuya solo ligeramente. De ordinario, para aprender cómo afecta el análisis económico la incertidumbre de las estimaciones, se estudian diversos parámetros importantes.

La graficación del VP, VA o TR *versus* el (los) parámetro(s) estudiado(s) es muy útil. Dos alternativas pueden compararse con respecto a un parámetro dado y calcularse el punto de equilibrio. Éste es un valor al cual las dos alternativas son equivalentes en términos económicos. Sin embargo, el diagrama del punto de equilibrio comúnmente representa sólo un parámetro por diagrama. Por tanto, se construyen diversos diagramas y se supone la independencia de cada parámetro. (En la sección siguiente se abordará cómo representar gráficamente diversos parámetros en una tabla de sensibilidad). En usos anteriores del análisis del punto de equilibrio, se calculó la medida de valor para dos valores de un parámetro solamente y se conectaron los puntos con una línea recta. No obstante, si los resultados son sensibles al valor de un parámetro, deben utilizarse diversos puntos intermedios para evaluar mejor la sensibilidad, en especial si las relaciones no son lineales.

Cuando se estudian diversos parámetros, un estudio de sensibilidad puede resultar bastante complejo. Éste puede realizarse utilizando un parámetro a la vez mediante un sistema de hoja de cálculo, un programa de computador preparado especialmente, o cálculos manuales. El computador facilita la comparación de múltiples parámetros y múltiples medidas de valor y el software puede representar gráficamente de manera rápida los resultados.



18.2 DETERMINACIÓN DE SENSIBILIDAD DE ESTIMACIONES DE PARÁMETROS

Al realizar un estudio de análisis de sensibilidad se puede seguir este procedimiento general, cuyos pasos son:

1. Determine cuál parámetro o parámetros de interés podrían variar con respecto al valor estimado más probable.
2. Seleccione el rango probable de variación y su incremento para cada parámetro.
3. Seleccione la medida de valor que será calculada.
4. Calcule los resultados para cada parámetro utilizando la medida de valor como base.
5. Para interpretar mejor los resultados, ilustre gráficamente el parámetro *versus* la medida de valor.

Este procedimiento del análisis de sensibilidad debe indicar cuáles parámetros justifican un estudio más detenido o requieren la consecución de información adicional. Cuando hay dos alternativas o más, es mejor utilizar una medida de valor de tipo monetario (VP o VA) en el paso 3. Si se utiliza la TR, se requieren esfuerzos adicionales de análisis incremental entre alternativas. El ejemplo 19.1 ilustra el análisis de sensibilidad para un proyecto.

Ejemplo 19.1

La firma Flavored Rice, Inc., está considerando la compra de un nuevo activo para el manejo automatizado del arroz. Las estimaciones más probables son un costo inicial de \$80,000, valor de salvamento de cero y una relación de flujo de efectivo antes de impuestos de la forma $FEN = \$27,000 - 2000t$ anual ($t = 1, 2, \dots, n$). La TMAR de la compañía varía entre el 10% y el 25% anual para los tipos diferentes de inversiones en activos. La vida económica de maquinaria similar varía entre 8 y 12 años. Evalúe la sensibilidad de VP y VA variando (a) el parámetro TMAR, a la vez que supone un valor n constante de 10 años y (b) el parámetro n , mientras la TMAR es constante al 15% anual.

Solución

(a) Siga el procedimiento anterior.

Paso 1. La TMAR, i , es el parámetro de interés.

Paso 2. Seleccione incrementos del 5% para evaluar la sensibilidad a la TMAR; el rango para i es del 10% al 25%.

Paso 3. Las medidas de valor son VP y VA.

Paso 4. Establezca las relaciones VP y VA. Por ejemplo, para $i = 10\%$, utilice valores k de 1 a 10 para el flujo de efectivo.

$$VP = -80,000 + 25,000(P/A, 10\%, 10) - 2000(P/G, 10\%, 10)$$

$$= \$27,830$$

$$VA = P(A/P, 10\%, 10) = \$4529$$

Las medidas de valor para los cuatro valores i en intervalos del 5% son:

i	VP	VA
10%	\$ 27,830	\$ 4,529
15	11,512	2,294
20	-962	-229
25	-10,711	-3,000

Paso 5. En la figura 19.1 se muestra una gráfica de la TMAR *versus* el VA. La pendiente negativa pronunciada indica que la decisión de aceptar la propuesta con base en VA es bastante sensible a variaciones en la TMAR. Si se establece la TMAR en el extremo superior del rango, la inversión no es atractiva.

(b) **Paso 1.** El parámetro es la vida n del activo.

Paso 2. Seleccione incrementos de 2 años para evaluar la sensibilidad a n durante el rango de 8 a 12 años.

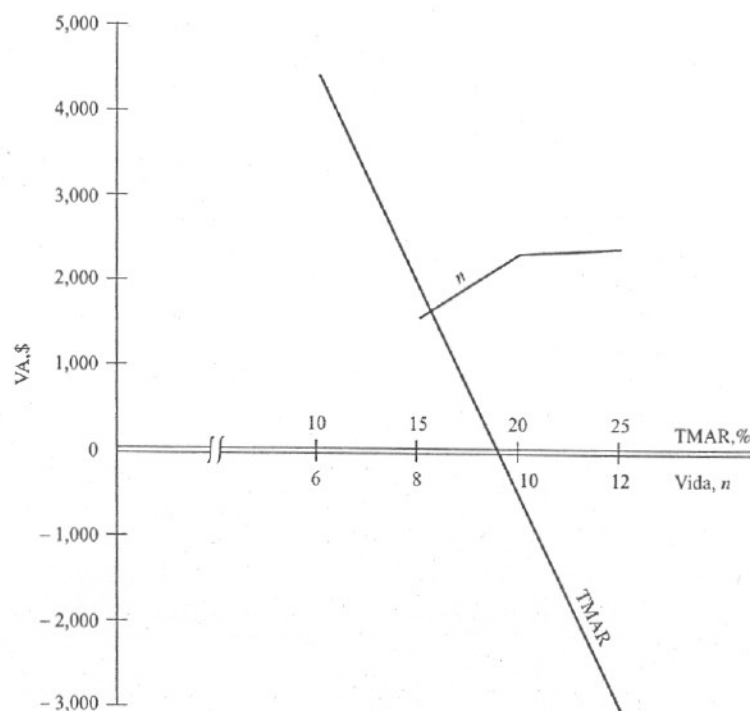


Figura 19.1 Gráfica de sensibilidad de VA a la TMAR y variación de la vida, ejemplo 19.1.

Paso 3. Las medidas de valor son VP y VA.

Paso 4. Establezca las mismas relaciones VP y VA que en la parte (a) para $i = 15\%$. Los resultados de las medidas de valor son:

n	VP	VA
8	\$ 7,221	\$ 1,609
10	11,511	2,294
12	13,145	2,425

Paso 5. La figura 19.1 presenta una gráfica no lineal de VA *versus* n . Ésta es una forma característica para el análisis de sensibilidad de un valor n . Comoquiera que las medidas VP y VA son positivas para todos los valores de n , la decisión de invertir no se ve afectada en forma sustancial por la vida estimada.

Comentario

Observe que en la parte (b), la curva VA parece nivelarse por encima de $n = 10$. Esta insensibilidad a cambios en el flujo de efectivo en el futuro distante es un rasgo esperado, porque al descontar al tiempo 0, los valores VP o VA se hacen menores a medida que n aumenta.

Ejemplo 19.1 (Hoja de cálculo)

La firma Flavored Rice, Inc., está considerando la compra de un nuevo activo para el manejo automatizado del arroz. Las estimaciones más probables son un costo inicial de \$80,000, valor de salvamento cero y una relación de flujo de efectivo antes de impuestos de la forma $FEA_t = \$27,000 - 2000t$ anualmente ($t = 1, 2, \dots, n$). La TMAR para la compañía varía del 10% al 25% para tipos diferentes de inversiones en activos. La vida económica de maquinaria similar varía entre 8 y 12 años.

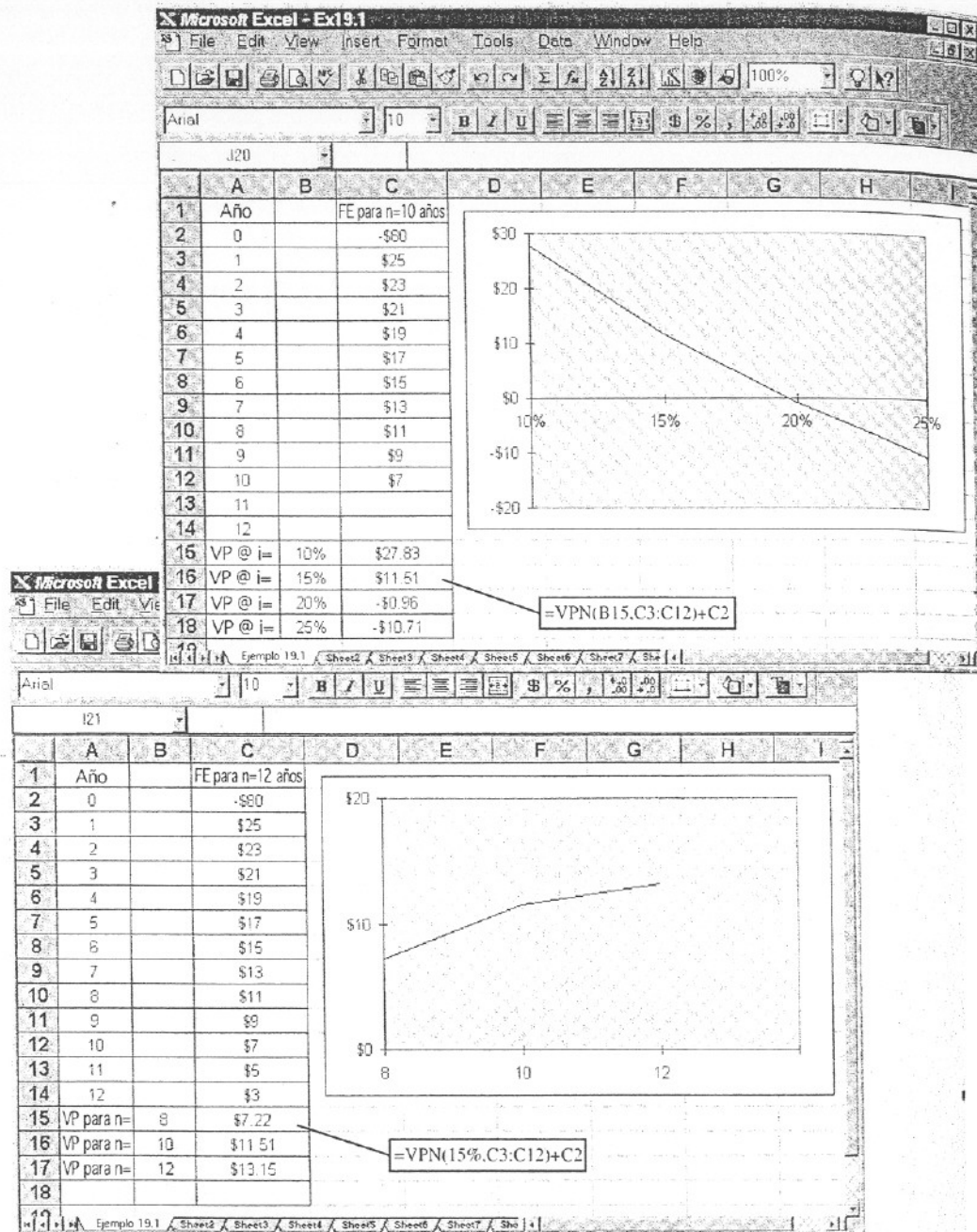
Utilice una hoja de cálculo para evaluar la sensibilidad de VP variando el parámetro TMAR, a la vez que supone un valor n constante de 10 años y variando el parámetro n , mientras que la TMAR es constante al 15% anual.

Solución

La figura 19.2 presenta dos hojas de cálculo para las partes (a) y (b) y las gráficas correspondientes de VP *versus* i (n fijo) y VP *versus* n (i fijo). Si se dividen todos los valores por \$1000 de manera que no son necesarias marcaciones para los ceros, la relación general para los valores del flujo de efectivo en el año t , FE_t , es:

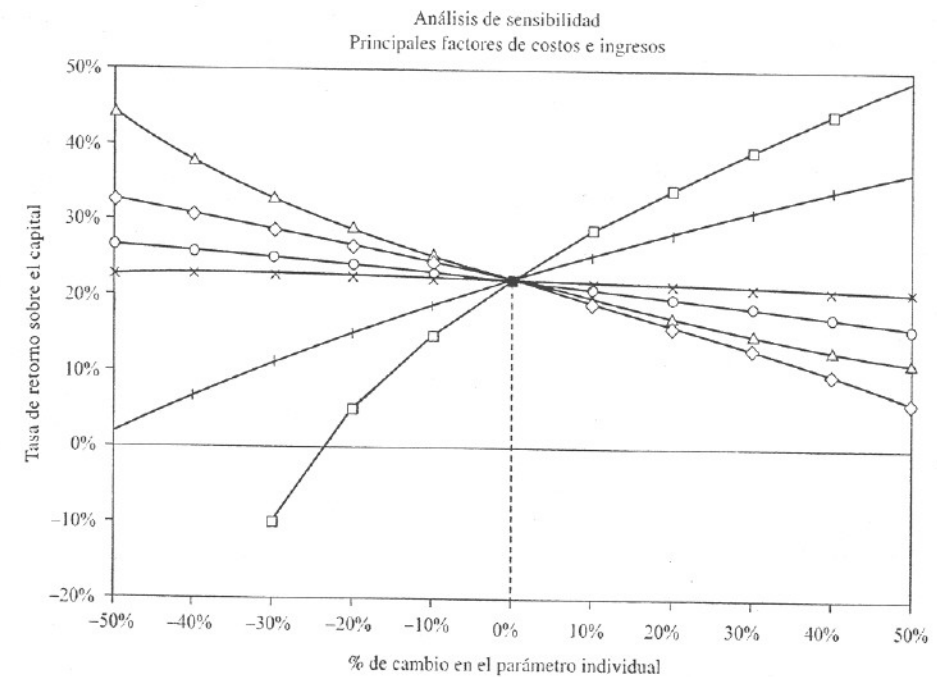
$$FE_t = \begin{cases} -80 & t = 0 \\ +27 - 2t & t = 1, \dots \end{cases}$$

La hoja de cálculo fue creada para calcular VP para valores i del 10% al 25% y valores n desde 8 hasta 12 años. Las funciones de las muestras en las celdas de la hoja de cálculo se detallan en la figura 19.2 para calcular el VP [o el valor presente neto (VPN)]. Como en el ejemplo anterior, VP es muy sensible a i , pero no es muy sensible a las variaciones en n .



Cuando se considera la sensibilidad de *diversos parámetros* para una alternativa utilizando una *sola medida de valor*, es útil elaborar gráficas del cambio porcentual para cada parámetro *versus* la medida de valor. La figura 19.3 ilustra la TR *versus* seis parámetros diferentes para una alternativa. La variación en cada parámetro se indica como una desviación porcentual de la estimación más probable en el eje horizontal. Para utilizar la gráfica se puede seleccionar un parámetro. Si la curva de respuesta TR es plana y se acerca a horizontal en el rango de la variación total graficada, hay poca sensibilidad de TR al parámetro. Ésta es la conclusión para el costo indirecto en la figura 19.3. Por otra parte, TR es muy sensible al precio de venta. Una reducción del 30% del precio esperado de ventas disminuye la TR del 20% al -10% aproximadamente, mientras que un incremento del 10% en el precio la aumenta a cerca del 30%.

Si se comparan dos *alternativas* y se busca la sensibilidad a un *parámetro*, la gráfica puede mostrar resultados marcadamente no lineales. Observe la forma general de las gráficas de sensibilidad en la figura 19.4. Las curvas se muestran como segmentos lineales entre



Convenciones de parámetros

- Precio de ventas
- × Costo Indirecto
- ◇ Materiales directos
- Mano de obra directa
- + Volumen de ventas
- △ Capital

Figura 19.3 Gráfica del análisis de sensibilidad de variación porcentual de la estimación más probable.
FUENTE: J. R. Heizer, "Sensitivity Analysis for Business Planning", Apéndice D: *Engineering Economy* de L. T. Blank and A. J. Tarquin, New York, McGraw-Hill, 3a ed., 1989.

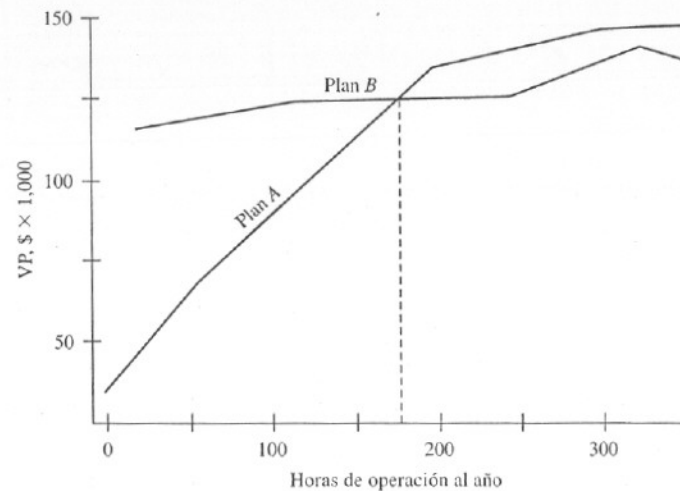


Figura 19.4 Sensibilidad de la muestra VP a horas de operación para dos alternativas.

puntos de cálculo específicos. No se realizarán los cálculos reales en este caso. La gráfica indica que el VP de cada plan es una función no lineal de las horas de operación. El plan A es muy sensible en el rango de 0 a 200 horas, pero es comparativamente insensible por encima de 200 horas. El plan B es más atractivo debido a su insensibilidad relativa, siempre que ambos planes A y B se justifiquen, es decir, la medida de valor seleccionada indica la justificación económica. Este hecho indica la necesidad de representar gráficamente los parámetros *versus* la medida de valor en puntos intermedios más frecuentes para entender mejor la naturaleza de la sensibilidad.

Ejemplo adicional 19.8 Problemas 19.1 a 19.16

19.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD UTILIZANDO TRES ESTIMACIONES

Es posible examinar a cabalidad las ventajas y desventajas económicas entre dos alternativas o más tomando en préstamo, del campo de la programación de proyectos, el concepto de elaborar tres estimaciones para cada parámetro: *una estimación pesimista, una muy probable y una optimista*. El lector debe darse cuenta de que, dependiendo de la naturaleza de un parámetro, la estimación pesimista puede ser el valor más bajo (la vida de la alternativa es un ejemplo) o el valor más grande (como el costo inicial de un activo).

Este enfoque nos permite estudiar la sensibilidad de la selección de las medidas de valor y de las alternativas dentro de un rango preestablecido de variación para cada parámetro. En

general, cuando se calcula la medida de valor para un parámetro o alternativa particular se utiliza la estimación más probable para todos los demás parámetros. Este enfoque, esencialmente el mismo del análisis de un parámetro a la vez de la sección 19.2, se ilustra mediante el ejemplo siguiente.

Ejemplo 19.2

Usted es un ingeniero que está evaluando tres alternativas para las cuales un equipo de gerencia ha hecho tres estimaciones de estrategia, una pesimista (P), una muy probable (MP) y una optimista (O), para la vida, el valor de salvamento y los costos anuales de operación. Las estimaciones se presentan en la tabla 19.1 a un nivel de alternativa por alternativa. Por ejemplo, la alternativa B tiene estimaciones pesimistas de $VS = \$500$, $CAO = \$4000$ y $n = 2$ años. Los costos iniciales se conocen, de manera que ellos tienen el mismo valor para todas las estrategias. Realice un análisis de sensibilidad para tratar de determinar la alternativa más económica utilizando el análisis VA y una TMAR del 12%.

Tabla 19.1 Alternativas que compiten con base en tres estimaciones hechas para los parámetros de valor de salvamento, CAO y vida

Estrategia	Costo inicial, \$	Valor de salvamento, \$	CAO, \$	Vida, n años
Alternativa A				
P	-20,000	0	-11,000	3
Estrategia MP	-20,000	0	-9,000	5
O	-20,000	0	-5,000	8
Alternativa B				
P	-15,000	500	-4,000	2
Estrategia MP	-15,000	1,000	-3,500	4
O	-15,000	2,000	-2,000	7
Alternativa C				
P	-30,000	3,000	-8,000	3
Estrategia MP	-30,000	3,000	-7,000	7
O	-30,000	3,000	-3,500	9

Solución

Para la descripción de cada alternativa en la tabla 19.1, se calcula el VA de los costos. Por ejemplo, la relación VA para la estimación pesimista de la alternativa A es:

$$VA = -20,000(A/P, 12\%, 3) - 11,000 = \$-19,327$$

Como en la mayoría de los estudios de sensibilidad, una hoja de cálculo que utiliza los valores de los parámetros P, MP y O reducirá significativamente el tiempo de cálculo.

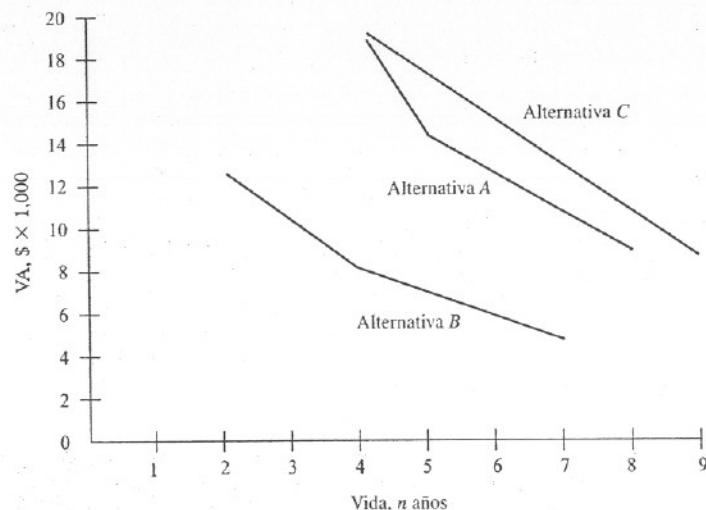


Figura 19.5 Gráfica de los valores VA para diferentes estimaciones de vidas, ejemplo 19.2.

La tabla 19.2 presenta todos los valores VA. La figura 19.5 es una gráfica de VA *versus* las tres estimaciones de vida para cada alternativa. Puesto que el costo VA calculado utilizando las estimaciones MP para la alternativa B (\$-8229) es económicamente mejor aún que el valor VA optimista para las alternativas A y C, es claro que la alternativa B se ve favorecida.

Comentario

Aunque la alternativa que debe ser seleccionada en este ejemplo es bastante obvia, normalmente éste no es el caso. Por ejemplo, en la tabla 19.2 (omitiendo los signos menos), si la alternativa B pesimista del costo anual equivalente fuera mucho más alta, por ejemplo, \$21,000 anual (en lugar de \$12,640) y los costos VA optimistas para las alternativas A y C fueran menores que para B (\$5089), la selección de B no es clara o correcta. En este caso, sería necesario seleccionar un conjunto de las estimaciones (P, MP u O) sobre el cual se basa la decisión. En forma alternativa, las diferentes estimaciones pueden utilizarse en un análisis de valor esperado, introducido en la siguiente sección.

Tabla 19.2 Valores anuales, ejemplo 19.2

Estrategia	Valores VA alternativos		
	A	B	C
P	\$-19,327	\$-12,640	\$-19,601
MP	-14,548	-8,229	-13,276
O	-9,026	-5,089	-8,927

19.4 VARIABILIDAD ECONÓMICA Y EL VALOR ESPERADO

Los ingenieros y analistas económicos deben tratar con estimaciones sobre un *futuro* incierto dependiendo en una forma apropiada de información pasada, de existir ésta. El uso de la probabilidad y de sus cálculos básicos por el economista ingeniero no son tan comunes como deberían ser. La razón para ello no radica en que los cálculos sean difíciles de realizar o de entender sino que las probabilidades realistas asociadas con las estimaciones del flujo de efectivo son difíciles de hacer. Para evaluar la deseabilidad de una alternativa, con frecuencia la experiencia y el juicio pueden ser utilizados conjuntamente con las probabilidades y los valores esperados.

El *valor esperado* puede interpretarse como un promedio de largo plazo observable si el proyecto se repite muchas veces. Dado que una alternativa particular es evaluada o implementada sólo una vez, resulta una *estimación puntual* del valor esperado. Sin embargo, aun para una sola ocurrencia, el valor esperado es un número significativo que se debe conocer y utilizar.

El valor esperado $E(X)$ se calcula mediante la relación:

$$E(X) = \sum_{i=1}^{i=m} X_i P(X_i) \quad [19.1]$$

donde X_i = valor de la variable X para i desde 1 hasta m valores diferentes

$P(X_i)$ = probabilidad de que ocurra un valor específico de X

Las probabilidades siempre están expresadas correctamente en forma decimal, pero de ordinario se habla de ellas en porcentajes y con frecuencia se hace referencia a ellas como *chances*; por ejemplo, las posibilidades *son alrededor del 10%*. Al ubicar el valor de la probabilidad en la ecuación [19.1] o cualquier otra relación es necesario asegurarse de utilizar el equivalente decimal del 10%, es decir, 0.1. En todas las ecuaciones de probabilidad los valores $P(X_i)$ para una variable X deben totalizar 1.0.

$$\sum_{i=1}^{i=m} P(X_i) = 1.0$$

Comúnmente se omitirá el subíndice i que acompaña la X para fines de simplicidad.

Si X representa los flujos de efectivo estimados, algunos serán positivos y algunos negativos. Si una secuencia del flujo de efectivo incluye ingresos y costos y se calcula el valor presente a la TMAR, el resultado es el valor esperado de los flujos de efectivo descontados, $E(VP)$. Si el valor esperado es negativo, se espera que el resultado global sea una salida de efectivo. Por ejemplo, si $E(VP) = \$-1500$, esto indica una propuesta que no se espera que retorne la TMAR.

Ejemplo 19.3

Usted espera ser mencionado en el testamento de su tío favorito y cree que haya una posibilidad del 50% de recibir \$5000 y una posibilidad del 45% de \$50,000. Además considera que hay una pequeña posibilidad (5%) de no recibir herencia alguna. Calcule la herencia esperada.