1
Presentación

En la actualidad, tanto managers, funcionarios como analistas deben desenvolverse dentro de un contexto cada vez más complejo, dinámico y cambiante; por ende, las decisiones que se tomen en el presente resultarán claves a la hora de fijar estrategias en el mediano o largo plazo. Considerando que el objetivo que promueve la gestión empresarial es maximizar el valor de los accionistas, resulta imprescindible contar con la mayor información posible a la hora de llevar adelante un determinado plan de acción.

Desde la aparición en el mercado de la primera planilla de cálculo en el año 1979 se ha producido una revolución en la forma de trabajar y manipular datos y cifras. La modelización y análisis de situaciones complejas quedaban sólo a cargo de un reducido número de expertos en programación, matemáticos, físicos o estadísticos. Grandes empresas tenían departamentos especialmente asignados a tal fin cuyos integrantes pasaban jornadas completas vinculando ecuaciones que permitían explicar un problema. Estas personas se encargaban de preparar reportes dirigidos a los altos directivos indicando los probables resultados que implicaría tomar o no una decisión. El inconveniente residía en que el nivel gerencial, en general, no tenía conocimientos lo suficientemente técnicos como para comprender el trasfondo utilizado para el diseño matemático del modelo y éste irremediablemente se tornaba una “caja negra” con el subsiguiente descreimiento o incluso mala utilización de la información suministrada afectando los resultados futuros.

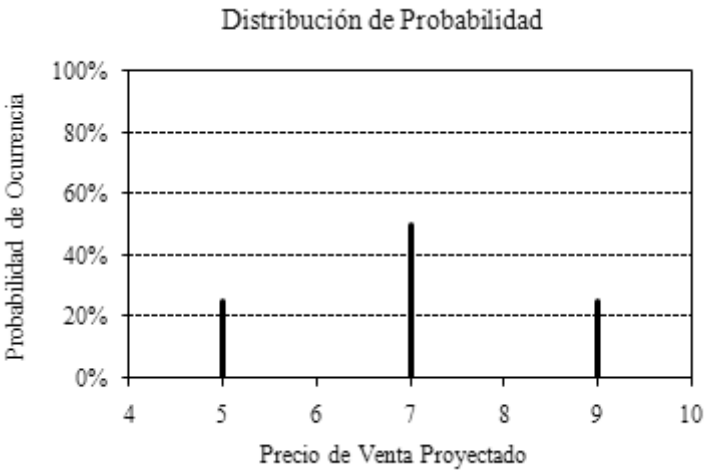


Figura 2.2 Distribución de probabilidad del precio de venta

En base a esta información es posible graficar la distribución de probabilidad de las ventas. La figura 2.2 muestra esta situación. El precio de venta igual a $5 tiene asociado una probabilidad de ocurrencia del 25%, lo mismo ocurre para el caso de un precio igual a $9. Para un precio de $7, la probabilidad de ocurrencia es el 50%.

2.3.1. Riesgo vs. Incertidumbre

Estados como el de la figura 2.2 se refieren a situaciones riesgosas. En general, se define al riesgo como la incertidumbre que existe acerca de un resultado asociado a una distribución de probabilidad. Al estar expuestos ante una situación riesgosa, no es posible saber con exactitud el resultado a obtener.

En teoría de decisión y estadística se presenta una distinción bien precisa entre situaciones de riesgo e incertidumbre. Es claro que en ambos contextos existe la imposibilidad de conocer el resultado exacto para un evento determinado. Sin embargo, la diferencia bajo este enfoque consiste en que la situación bajo riesgo puede ser modelada recurriendo a una distribución de probabilidad conocida. Por el contrario, en situaciones de incertidumbre, la distribución de probabilidad resulta desconocida.

En situaciones riesgosas, la experiencia o el pasado pueden ser utilizados como vehículo para conocer los resultados posibles y su probabilidad de ocurrencia. Por ejemplo, en base a estadísticas históricas se puede determinar la probabilidad de fallo de una máquina.

Frente a situaciones inciertas, no existe información relevante para poder determinar los resultados esperados y, por lo tanto, las probabilidades no son calculadas de manera objetiva. Lo que se suele hacer

=FRECUENCIA(datos;grupos)

En donde “datos” hace referencia al rango de celdas en el que se encuentran las observaciones a analizar o contar y “grupos” hace referencia a las celdas en donde se encuentran los intervalos. Dentro de grupos sólo deben referenciarse los límites superiores de cada clase ya que Excel interpreta que el límite inferior es el valor de la clase anterior.

Las frecuencias absolutas se ingresarán en el rango de celdas F4:F10. El primer paso consiste en seleccionar dicho rango. A continuación se ingresa la función “Frecuencia” y se define como datos al rango B2:B59 y como grupos al rango E4:E10. Para que Excel interprete en forma correcta los intervalos esta función debe ingresarse en forma matricial, es decir, en lugar de presionar la tecla “Enter” deben presionarse en forma conjunta las teclas “Control+Shift+Enter”. La figura 3.9 muestra que los resultados obtenidos son iguales a los de la tabla 3.3. En la parte superior puede observarse que la función se encuentra en formato matricial, es decir, delimitada con llaves {}.

En caso de no utilizarse formato matricial la función Frecuencia devuelve la cantidad de valores que se encuentran por debajo de límite indicado, con lo cual puede ser utilizada para calcular las frecuencias absolutas acumuladas según lo indicado en la figura 3.10. En este caso, se define como grupo la celda del intervalo en cuestión y se fijan las celdas que contienen los datos mediante signos $ para evitar el desplazamiento del rango al copiar hacia abajo.

Otra forma de obtener lo mismo, es simplemente sumar los valores de las frecuencias individuales. El cálculo de las frecuencias relativas puede hacerse dividiendo el número de frecuencias absolutas individuales por el total para el caso de las relativas individuales; y dividiendo el número de

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Día	Ventas		Intervalos		Frecuencias absolutas		
2	1	11.400		Límite	Límite	Individuales	Acumuladas	
3	2	10.330		Inferior	Superior			
4	3	6.540		6.540	8.024	=FRECUENCIA(B2:B51;E4:E10)		
5	4	14.000		8.025	9.509			
6	5	12.700		9.509	10.993			
7	6	8.450		10.994	12.478			
8	7	12.670		12.478	13.962			
9	8	13.220		13.963	15.447			
10	9	15.600		15.447	16.931			
11	10	11.800						
49	48	14.080						
50	49	14.140						
51	50	7.810						

Figura 3.8 Función de Excel “Frecuencia”

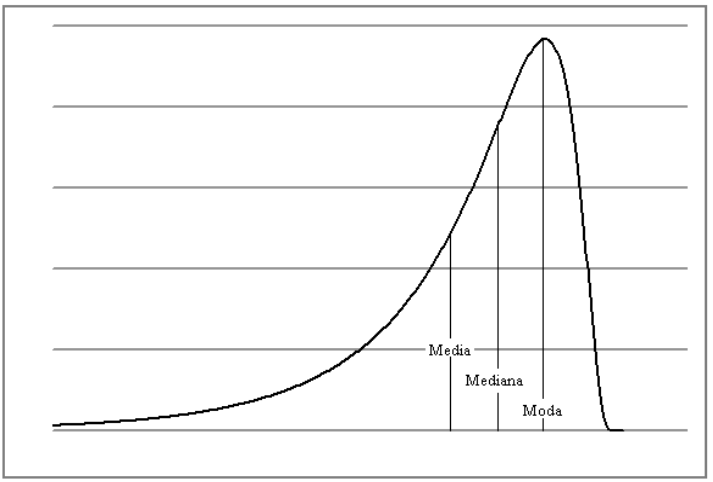


Figura 4.13 Comparación media, mediana y moda en curvas sesgadas a la derecha

curva tomando como referencia a la distribución normal. La figura 4.11 muestra dos curvas con idéntica media aritmética pero con curtosis diferente.

Regresando a la comparación entre la media aritmética, la mediana y la moda, las distribuciones que son simétricas y unimodales tendrán el mismo valor para las tres estadísticas. En las distribuciones que tienen un sesgo positivo la moda será el valor más alto de la distribución, mientras que la que mediana se ubicará a la derecha y la media aritmética más a la derecha según lo indica la figura 4.12. Para curvas sesgadas hacia la izquierda sucede lo opuesto, es decir, la mediana se encuentra a la izquierda de la moda y la media aritmética más a la izquierda (figura 4.13).

4.4. Medidas de dispersión

Si se observa la figura 4.2 es posible notar que ambas curvas son simétricas con la misma media, mediana y moda. Sin embargo, la utilización de esa información no es suficiente para describir el comportamiento de los datos ya que existe una diferencia fundamental en el grado de concentración de los valores de cada distribución.

Las estadísticas de dispersión más utilizadas son el rango y los alcances, la varianza, el desvío estándar, el coeficiente de variación, el coeficiente de asimetría y la curtosis (estas dos últimos también conocidas como medidas de forma). La varianza y el desvío estándar estudian la variabilidad de los valores de una distribución respecto de algún promedio, es decir, cuan dispersos se encuentran los datos.

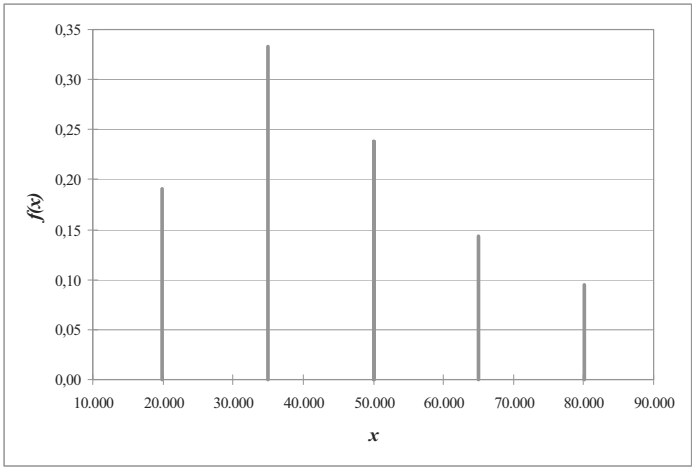


Figura 5.15 Gráfico de distribución discreta

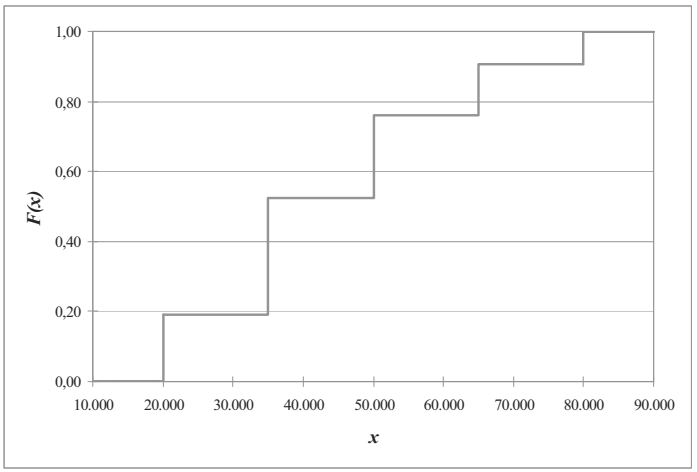


Figura 5.16 Gráfico de distribución discreta acumulada

5.4.7 Distribución uniforme discreta

La distribución uniforme discreta se caracteriza por tener la misma probabilidad de ocurrencia para cada uno de los valores discretos a diferencia de la distribución anterior en la cual cada valor podía asumir una probabilidad diferente. La función de probabilidad es:

7
Números aleatorios

7.1. Resumen del capítulo

En este capítulo se explica uno de los pilares de la simulación por computadora: los números aleatorios. En particular, se enuncia su definición y la forma de generar secuencias de números aleatorios en Excel.

7.2. Números aleatorios

En el capítulo 3 se mencionó el concepto de muestreo aleatorio simple al azar el cual implica que cada observación de una muestra tiene la misma probabilidad de ocurrencia de ser seleccionada y las probabilidades de selección son independientes entre sí. La forma de generar muestras de este tipo en un modelo de Excel es a través de la generación de números aleatorios. Un número aleatorio es aquel que es escogido al azar de algún tipo de distribución de probabilidad de manera que si se selecciona una gran cantidad de estos números, es posible reproducir dicha distribución. Por sus propiedades, estos números son independientes e idénticamente distribuidos.

Ante la ausencia de computadoras, una de las maneras de generar números aleatorios era a través del lanzamiento de un dado, una moneda o algún dispositivo en forma de ruleta. Hoy en día, existen modelos computacionales capaces de generar secuencias de números aleatorios muy velozmente. Los números aleatorios generados a través de computadoras

$$\text{para } 0 \le U \le \frac{(\text{más prob - mín.})}{(\text{máx. - mín.})} \text{ y,}$$

$$x = -\sqrt{(-U+1)(\text{máx.} - \text{más prob.})(\text{máx.} - \text{mín.})} + \text{máx.}$$

$$\text{cuando } \frac{(\text{más prob - mín.})}{(\text{máx. - mín.})} < U \le 1$$

El cociente $(\text{más prob - mín.})/(\text{máx. - mín.})$ tiene por objeto estandarizar los parámetros de la distribución para llevarlos al intervalo entre 0 y 1. Al igual que en el caso anterior, ingresando las ecuaciones en Excel es posible replicar una distribución triangular. En la figura 7.4 se generan números aleatorios pertenecientes a una distribución triangular con mínimo igual a 10, valor más probable de 23, y un máximo de 29. Al existir una condición se recurre a la función "Si" de Excel permitiendo asignar dos resultados de acuerdo a si se cumple o no la condición. La sintaxis de la función "Si" de Excel es:

	A	B	C	D	E	F
1	**U(0,1)**	**Número Aleatorio**		minimo	10	
2	0,022161161	12,34		más probable	23	
3	0,068403181	14,11		máximo	29	
4	0,048779964	13,47		estandarización	0,68	<=($E$2-$E$1)/($E$3-$E$1)
5	=SI(A5<=$E$4;RAIZ(A5*($E$2-$E$1)*($E$3-$E$1))+$E$1;-RAIZ((					
6	-A5+1)*($E$3-$E$2)*($E$3-$E$1))+$E$3)			**Intervalos**		**Frecuencias absolutas**
7	0,763039469	23,80				
8	0,44882136	20,53		**Límite Inferior**	**Límite Superior**	**Individuales**
9	0,714842644	23,30		10	11	4
10	0,37067702	19,57		12	13	42
11	0,35427309	19,35		14	15	65
12	0,332305774	19,06		16	17	87
13	0,142598093	15,93		18	19	124
14	0,677976945	22,94		20	21	168
15	0,801802505	24,25		22	23	198
16	0,20210778	17,07		24	25	179
17	0,077536502	14,38		26	27	103
18	0,675183175	22,91		28	29	30
988	0,584429512	22,01				
989	0,141796989	15,92				
990	0,486685182	20,96				
991	0,280943709	18,33				
992	0,631681908	22,49				
993	0,161292719	16,31				
994	0,233279948	17,59				
995	0,483768337	20,93				
996	0,004929039	11,10				
997	0,638400091	22,56				
998	0,636455696	22,54				
999	0,813379275	24,39				
1000	0,27941991	18,31				
1001	0,043655082	13,28				
1002						

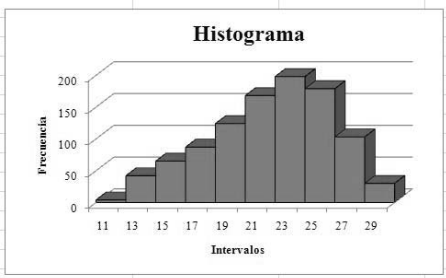


Figura 7.4 Generación de una variable aleatoria triangular

D4 =JERARQUIA(B4;$B$4:$B$103)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Muestra	Números aleatorios		Orden Definido			Números aleatorios					Números aleatorios	
2		N(0,1) Correlacionados					Normal		Uniforme			Correlacionados	
3		Variable 1	Variable 2	Variable 1	Variable 2		Orden	N(10;3)	Orden	U(1;8)		N(10;3)	U(1;8)
4	1	0,722037286	-0,56725707	24	69		37	10,84276053	27	6,041871395		11,97725058	3,534928434
5	2	-2,47501672	2,120682451	99	3		98	3,411365722	91	2,149540696		2,110751919	7,835932493
6	3	-0,66641467	0,337797455	69	43		30	11,43375019	95	1,942533647		8,288401457	5,127109592
7	4	-0,40203399	0,538901088	64	36		70	8,258333562	89	2,444990387		8,467444584	5,478743858
8	5	0,210623053	0,52553177	43	38		49	9,509108193	10	7,100833155		10,02053866	5,436017945
9	6	0,505669069	-0,97065408	31	84		59	8,810237685	79	2,723563341		11,28647685	2,638325144
10	7	0,970066556	-0,93245654	17	82		56	8,934622454	55	4,350138859		12,79250116	2,658833583
11	8	1,50881212	-0,13826295	6	57		6	15,45462171	16	6,693655202		15,45462171	4,218329417
12	9	-0,11869648	-0,38878176	54	64		97	3,793953763	7	7,371074557		9,027738795	3,701132237
13	10	-0,18600842	0,610677061	57	33		64	8,467444584	87	2,582354198		8,930222773	5,716299936
95	92	-0,4777633	0,785558948	68	23		81	7,208910827	13	6,754539628		8,295413661	6,362743004
96	93	-1,67985136	0,196752484	93	47		53	9,086090838	23	6,362743004		5,686239345	4,829737236
97	94	0,284955269	-0,40563547	39	65		43	10,02053866	51	4,543473617		10,67003384	3,624011963
98	95	0,246575042	-0,80787164	41	75		72	7,995004151	68	3,546250801		10,04486992	2,918607135
99	96	0,725150339	-1,2549189	23	93		78	7,363029252	32	5,719931639		12,01131229	2,062593463
100	97	0,287223441	0,730801335	38	27		26	11,71430315	81	2,701773125		10,79488245	6,041871395
101	98	-0,76383782	0,734301356	74	26		10	14,42647433	96	1,598590045		7,813379196	6,149540696
102	99	-0,19036306	1,16005872	58	14		5	15,79038897	76	2,824610126		8,894684268	6,716940825
103	100	-0,05827128	0,752417359	51	25		91	6,112858298	97	1,565904721		9,364979431	6,198675497
104													
105									Coeficiente de Correlación			-0,7639	
106													

Figura 7.15 Algoritmo de Iman-Conover en Excel

vinculando cada dato inicial con el rubro correspondiente. La figura 8.2 muestra el flujo de fondos proyectado en Excel. En la fila 14 se hace referencia al año a proyectar. El período 0 indica el momento inicial, es decir, cuando se desembolsa la inversión inicial necesaria para poner en marcha el proyecto.

En la fila 15 se calculan las unidades a vender de la siguiente manera: las unidades a vender el primer año representan 40.000, por lo tanto, la celda E15 referencia directamente a la celda D3. Para los años siguientes, las unidades a vender se estiman multiplicando las unidades del año anterior por uno más la tasa de crecimiento. Por ejemplo, para el segundo año (celda F15) la cantidad vendida será igual a $41.600, es decir, $40.000 \times 1{,}04$ (figura 8.3). Por cuestiones de espacio y exposición, de aquí en adelante algunas filas o columnas en las figuras presentadas permanecen ocultas.

En la fila 16 se calculan los ingresos anuales por ventas. Dichos montos se computan referenciando la celda que contiene el precio de venta, D4, con la celda que contiene las unidades vendidas del año correspondiente. Los costos variables por ventas, fila 17, se computan multiplicando los ingresos por ventas por el porcentaje de costos variables (celda D6). La fila 18 estima el resultado operativo mediante la diferencia entre ingresos menos costos variables. En la fila 19 se hace referencia a la celda D10 que contiene el monto del costo fijo anual. Seguidamente, se ingresan las amortizaciones referenciando a la celda D8. Cabe aclarar que si bien este concepto es no erogable, es decir, no representa una salida de dinero real, debe incluirse para estimar correctamente el impuesto a las ganancias. Luego, para arribar al flujo de fondos neto se ajusta sumándolo (fila 24). La fila 21 corresponde al resultado obtenido antes del impuesto. La fila 22 multiplica dicho resultado por la tasa impositiva (celda D10) arribando al resultado neto en la fila 23. Para el cómputo del impuesto se recurre a la función de Excel "Si" indicando que si el resultado antes de impuestos es negativo no existirá pago de impuesto. Por último, para arribar al flujo de fondos proyectado se incluyen el desembolso de la inversión inicial en la celda D26 y el ingreso por el valor de recupero en la celda H25.

Para efectuar la evaluación económica del proyecto se estimaron el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Recordemos que el VAN de una serie de flujos de fondos es igual a:

$$VAN = \sum_{t=0}^{n} \frac{FF_t}{(1+TRR)^t} = FF_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{FF_t}{(1+TRR)^t}$$

Donde la *TRR* es la tasa de rendimiento requerida del proyecto, en este caso, 15%, y debe estar expresada en la misma unidad de tiempo que los flujos de fondos (*FF*).

valor para el inversor. Sin embargo, para que esto suceda deberían cumplirse las proyecciones realizadas en la figuras 8.1 y 8.2. Es probable que en realidad alguno de los datos iniciales supuestos sufra algún tipo de variación cambiando el VAN y la TIR del proyecto originalmente planteado e incluso volviendo no rentable el proyecto. En este punto es donde empieza a tomar relevancia el análisis de sensibilidad. Mediante el mismo será posible conocer cuán "sensibles" son las variables del proyecto respecto del VAN, la TIR o alguna otra variable de interés. Es decir, preguntas del tipo *¿qué pasaría si…?* podrán encontrar respuesta utilizando este tipo de análisis. Por ejemplo, cuánto podría caer el precio para que el proyecto siga siendo viable. O cuánto podrían aumentar los costos variables. O qué pasaría si se vende un 20% menos de unidades en cada año. Información de esta clase resultará primordial a la hora de tomar una decisión de inversión y comprender el riesgo a asumir en caso de llevarse a cabo el emprendimiento.

8.4. Administrador de escenarios

Al analizar una inversión será necesario suponer distintos escenarios para una o varias variables. La forma más rápida de hacerlo es simplemente cambiando el valor de la celda en cuestión y posteriormente observar cuál es el resultado. Por ejemplo, si quisiéramos conocer el VAN del proyecto del apartado anterior pero suponiendo un precio de venta de $6 en lugar de los $4,83 originales, bastaría con insertar el valor 6 en la celda D4. En forma automática, Excel nos dice que el VAN resultante asciende a $99.114. Del mismo modo, es posible realizar tantas combinaciones como el evaluador desee, incluso cambiando más de un dato inicial a la vez. El problema surge en lo tedioso que puede resultar este proceso, es decir, se deberían hacer tantas copias del modelo de Excel como escenarios proyectados o bien recordar los escenarios a proyectar e ir cambiando las celdas cada vez que se quiera visualizar alguno. Por suerte, la opción "Administrador de escenarios…" de Excel permite almacenar escenarios de forma sencilla. Esta opción se encuentra disponible en la solapa "Datos" dentro del botón "Análisis y si" (figura 8.4).

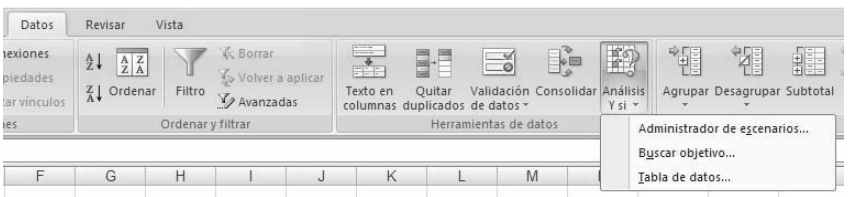


Figura 8.4 Opción Administrador de Escenarios

3	Demanda	40.000				
4	Precio de Venta	4,83				
5	% Crecimiento Anual	4%				
6	% Costos Variables s/ Ingresos	57,50%				
7	Costos Fijos	25.000				
8	Amortización	8.000				
9	Tasa de Descuento	15%				
10	Tasa de Impuestos	35%				
11	Valor de Recupero	57.600				
12						
13	**Flujo de Fondos Proyectado:**					
14	**Año**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**
15	Unidades Vendidas		40.000	41.600	43.264	44.995
16	Ingresos		193.200	200.928	208.965	217.324
17	Costos Variables		-111.090	-115.534	-120.155	-124.961
18	Resultado Operativo		82.110	85.394	88.810	92.363
19	Costos Fijos		-25.000	-25.000	-25.000	-25.000
20	Amortizaciones		-8.000	-8.000	-8.000	-8.000
21	Resultado antes de Impuestos		49.110	52.394	55.810	59.363
22	Impuesto a las Ganancias		-17.189	-18.338	-19.534	-20.777
23	Resultado Neto		31.922	34.056	36.277	38.586
24	Amortizaciones		8.000	8.000	8.000	8.000
25	Valor de Recupero					57.600
26	Inversión Inicial	-95.000				
27	Flujo de Fondos	-95.000	39.922	42.056	44.277	104.186
28						
29	Valor Actual Neto	60.196				
30	Tasa Interna de Retorno	38,93%				

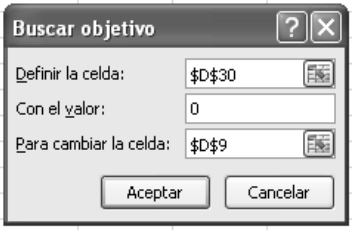


Figura 8.14 Configuración de la opción Buscar Objetivo

Presionando en la opción "Buscar objetivo…" se presentará un cuadro similar al de la figura 8.13. Se deben completar tres casilleros. El primero de ellos dice "Definir la celda:". En este lugar se debe hacer referencia a la celda objetivo, en nuestro caso, el objetivo es hacer que el VAN sea 0, por lo tanto, se indica la referencia D29. En segundo término, la casilla con nombre "Con el valor:" indica el número al que arribará la celda objetivo, es decir, cero. Por último, "Para cambiar la celda:" indica la celda que debe cambiar su valor para que el VAN sea 0, o sea, D9. Presionando en el botón "Aceptar", Excel comienza el proceso de prueba y error y determina que D9 debe ser igual a 38,93% para que el VAN sea 0, tal como lo habíamos predicho con anterioridad (figura 8.15).

Por supuesto, el ejercicio anterior fue hecho a sólo efectos de mostrar cómo funciona esta herramienta y en la práctica se utilizará directamente la función TIR de Excel. Siguiendo el mismo procedimiento es posible conocer que el precio de venta puede caer hasta un valor de $ 3,02 para que el proyecto siga siendo viable económicamente, tal como lo indica la figura 8.16.

	A	B	C	D	E	F	G
31							
32					**Precio de Venta**		
33		60.196	3,83	4,33	4,83	5,33	5,83
34		10.000	-84.442	-78.045	-71.648	-65.251	-58.855
35		20.000	-36.902	-28.451	-20.135	-11.819	-3.503
36		30.000	-4.917	7.557	20.030	32.504	44.978
37	**Unidades**	40.000	26.933	43.564	60.196	76.828	93.460
38		50.000	58.782	79.572	100.362	121.151	141.941
39		60.000	90.632	115.580	140.527	165.475	190.423
40		70.000	122.482	151.587	180.693	209.799	238.904
41		80.000	154.332	187.595	220.859	254.122	287.386
42							

Figura 8.26 Análisis de sensibilidad bidimensional

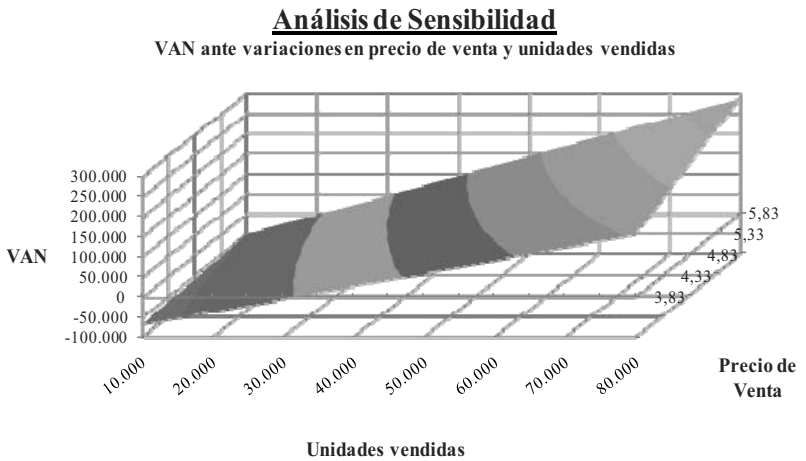


Figura 8.27 Gráfico 3D de sensibilidad para precio y cantidad

8.8. Riesgo y análisis de sensibilidad

Como se ha mostrado a lo largo del capítulo, el análisis de sensibilidad es una herramienta que permite conocer cuán "sensible" es la/s variable/s objetivo de un modelo frente a cambios en otras variables. El análisis de sensibilidad permite darnos una idea acerca de los puntos clave de variabilidad y de incertidumbre visualizando cómo impactan los distintos factores que intervienen en el modelo sobre el resultado final. La importancia de ello reside en la posibilidad de buscar una aproximación para la cuantificación o medición del riesgo. Este análisis también permite un entendimiento de los supuestos iniciales realizados, cuáles de éstos pueden necesitar revisión o qué variables carecen de relevancia.

forma análoga, lo que hace el ordenador es generar al azar o en forma aleatoria números ceros y unos respetando la distribución de probabilidad asignada para cada evento.

La figura 9.1 contiene la planilla utilizada para simular el lanzamiento de una moneda. En la columna A se generaron 1.000 números aleatorios uniformes entre 0 y 1 utilizando la función aleatorio(). Entonces, si el número aleatorio se encuentra entre 0 y 0,50 corresponderá asignar el evento "cara" y en caso contrario (número aleatorio mayor a 0,50) corresponderá el resultado "seca". La columna B refleja este resultado utilizando la función SI de Excel.

Los resultados luego generar 1.000 "lanzamientos virtuales" indican que en un 49,50% de las veces el resultado fue "cara" mientras que en un 50,50% el resultado fue "seca". Puede apreciarse que estos valores se acercan bastante al resultado teórico correcto de 50% para cada caso. Al ser la simulación un método de aproximación siempre existirá un error de muestreo. Presionando la tecla F9 de recálculo puede observarse que los porcentajes irán cambiando cada vez.

En general, el error dependerá del número de pruebas realizadas. En el ejemplo anterior, a medida que se incremente el número de lanzamientos, las probabilidades relativas de cada evento convergerán al valor de 50%. La figura 9.2 muestra esta relación.

B2 =SI(A2<=0,5;"cara";"seca")

	A	B	C	D	E	F	G
1	Nro. Aleatorio	Evento					
2	0,041868126810231	cara		Intervalos		Frecuencias absolutas	Frecuencias relativas
3	0,818426690675587	seca		Límite Inferior	Límite Superior	Individuales	Individuales
4	0,354628494779058	cara					
5	0,355289901707745	cara	cara	0,00	0,50	495	49,50%
6	0,656222376339038	seca	seca	0,50	1,00	505	50,50%
7	0,212859094824633	cara					
8	0,963882983913040	seca					
9	0,273345285580597	cara					
10	0,744217554712045	seca					
11	0,103542914923436	cara					
12	0,068022341070947	cara					
13	0,402414185813673	cara					
14	0,231634982718427	cara					
15	0,080761505233627	cara					
16	0,745990034306928	seca					
993	0,849877953602652	seca					
994	0,780122063055042	seca					
995	0,152885006303570	cara					
996	0,633327977300262	seca					
997	0,116163650209073	cara					
998	0,259826804060260	cara					
999	0,704996200911302	seca					
1000	0,446559734152069	cara					
1001	0,680698066627521	seca					

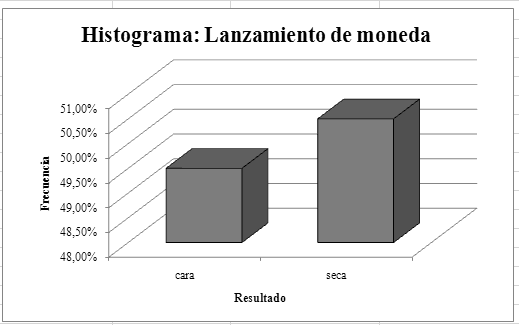


Figura 9.1 Simulación del lanzamiento de una moneda en Excel

cada variable. Una vez diseñado el modelo, se procede a la ejecución de la simulación y los resultados obtenidos son generalmente presentados en forma de histograma con sus respectivas medidas estadísticas.

La metodología Montecarlo consiste en extraer un número aleatorio de cada una de las distribuciones de probabilidad asignadas a las celdas que contienen variables de entrada del modelo de simulación, ingresar cada número en las celdas respectivas y almacenar el resultado obtenido de las variables identificadas como de salida del modelo (recuerde el caso del lanzamiento de la moneda). Por ejemplo, si se define que la cantidad vendida de un producto pueden tomar valores dentro de un rango que va desde 50 a 100 unidades, todos con la misma probabilidad de ocurrencia, se debe elegir al azar un valor dentro de ese rango, colocarlo en la celda de la planilla en donde se encuentra dicha variable y almacenar el resultado obtenido. Este proceso se repetirá tantas veces como número de "iteraciones" se hagan en la simulación.

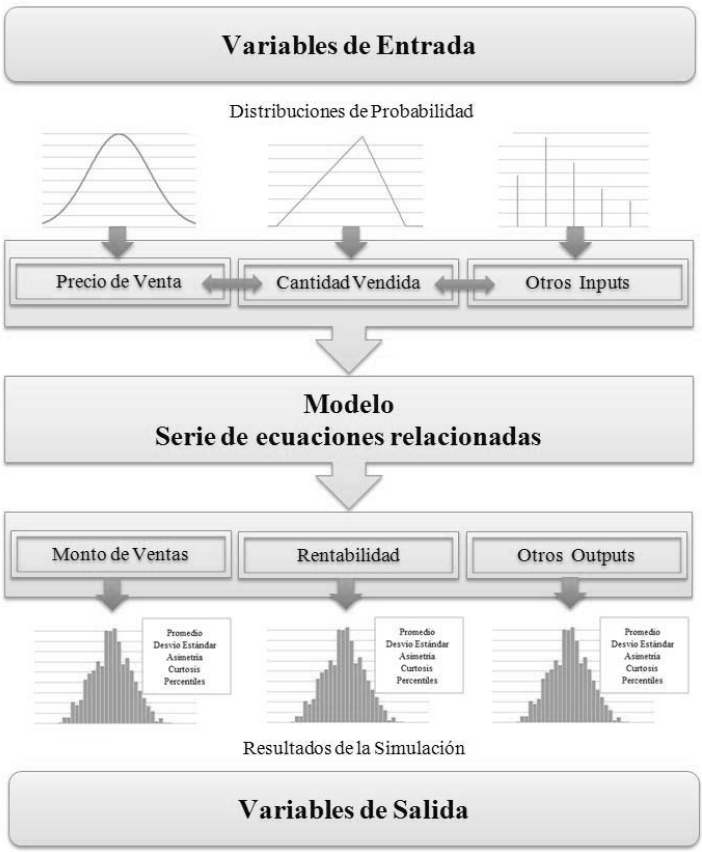
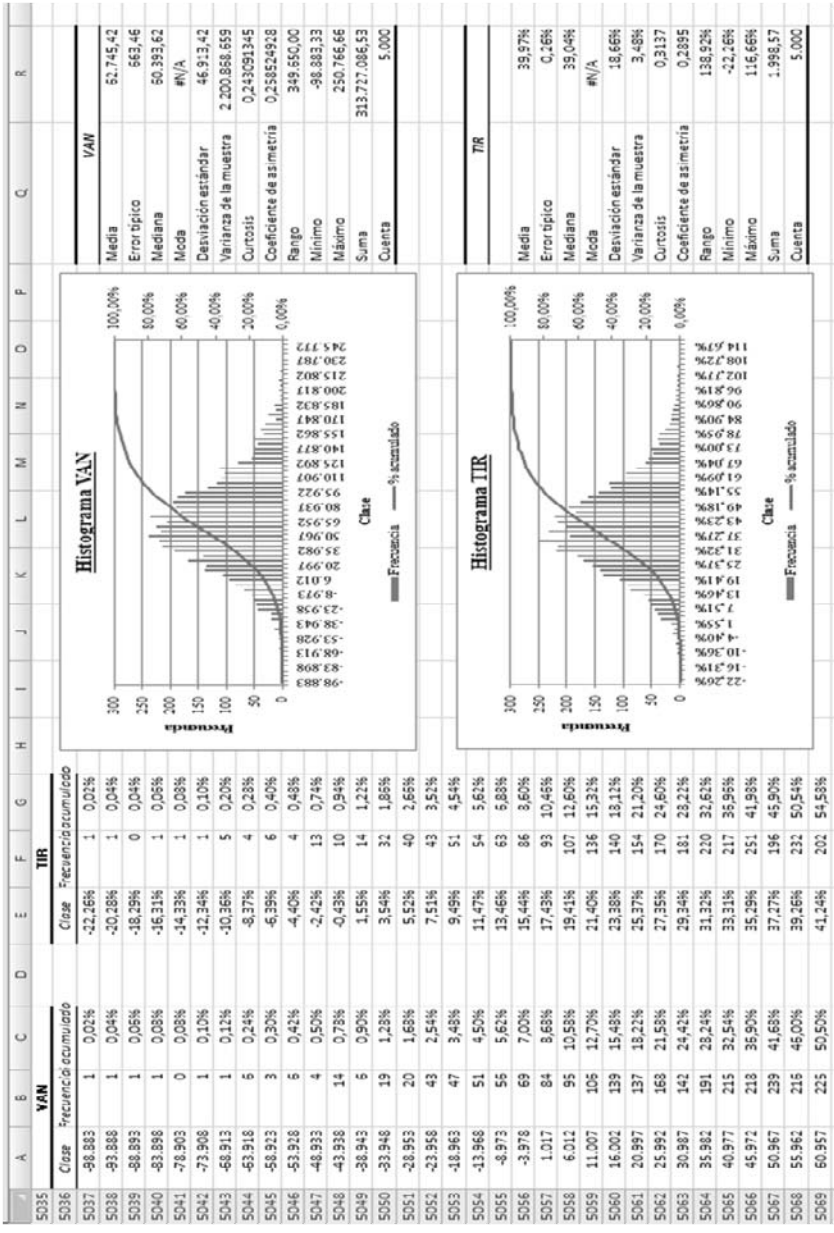


Figura 9.8 Estructura de un modelo de simulación



	VAN			TIR		
	Clase	Frecuencia	acumulado	Clase	Frecuencia	acumulado
5036						
5037	-98.883	1	0,02%	-22,26%	1	0,02%
5038	-93.888	1	0,04%	-20,28%	1	0,04%
5039	-88.893	1	0,06%	-18,29%	0	0,04%
5040	-83.898	1	0,08%	-16,31%	1	0,06%
5041	-78.903	0	0,08%	-14,33%	1	0,08%
5042	-73.908	1	0,10%	-12,34%	1	0,10%
5043	-68.913	1	0,12%	-10,36%	5	0,20%
5044	-63.918	5	0,24%	-8,37%	4	0,28%
5045	-58.923	3	0,30%	-6,39%	6	0,40%
5046	-53.928	5	0,42%	-4,40%	4	0,48%
5047	-48.933	4	0,50%	-2,42%	13	0,74%
5048	-43.938	14	0,78%	-0,43%	10	0,94%
5049	-38.943	5	0,90%	1,55%	14	1,21%
5050	-33.948	19	1,28%	3,54%	32	1,85%
5051	-28.953	20	1,68%	5,52%	40	2,66%
5052	-23.958	43	2,54%	7,51%	43	3,52%
5053	-18.963	47	3,48%	9,49%	51	4,54%
5054	-13.968	51	4,50%	11,47%	54	5,62%
5055	-8.973	56	5,62%	13,46%	63	6,88%
5056	-3.978	69	7,00%	15,44%	86	8,60%
5057	1.017	84	8,68%	17,43%	93	10,46%
5058	6.012	95	10,58%	19,41%	107	12,60%
5059	11.007	106	12,70%	21,40%	136	15,32%
5060	16.002	139	15,48%	23,38%	140	18,12%
5061	20.997	137	18,22%	25,37%	154	21,20%
5062	25.992	168	21,58%	27,35%	170	24,60%
5063	30.987	142	24,42%	29,34%	181	28,22%
5064	35.982	191	28,24%	31,32%	220	32,62%
5065	40.977	215	32,54%	33,31%	217	36,96%
5066	45.972	218	36,90%	35,29%	251	41,98%
5067	50.967	239	41,68%	37,27%	196	45,90%
5068	55.962	216	46,00%	39,26%	232	50,54%
5069	60.957	225	50,50%	41,24%	202	54,58%

VAN	
Media	62.745,42
Error típico	663,46
Mediana	60.393,62
Moda	#N/A
Desviación estándar	46.913,42
Varianza de la muestra	2.200.856,659
Curtosis	0,243091345
Coeficiente de asimetría	0,258524928
Rango	349.650,00
Mínimo	-98.883,33
Máximo	250.766,66
Suma	313.727.086,53
Cuenta	5.000

TIR	
Media	39,97%
Error típico	0,26%
Mediana	39,04%
Moda	#N/A
Desviación estándar	18,66%
Varianza de la muestra	3,48%
Curtosis	0,3137
Coeficiente de asimetría	0,2895
Rango	138,92%
Mínimo	-22,26%
Máximo	116,66%
Suma	1.998,57
Cuenta	5.000

Figura 9.17 Resumen estadístico de los resultados de la simulación

Este botón se utiliza para definir variables de optimización para realizar una simulación combinada con un proceso de optimización.

Este botón se utiliza para ingresar correlaciones entre las variables de entrada del modelo.

El sexto icono muestra la totalidad de variables de entrada, salida, sensibilización, optimización y correlaciones ingresadas.

Este icono se utiliza para borrar las celdas que contienen variables de entrada, salida, sensibilización y optimización.

Presionando este botón se ejecuta la simulación de la hoja de cálculo.

El noveno botón muestra los resultados obtenidos de la simulación.

El décimo icono se utiliza para definir una distribución de probabilidad en base a una serie de datos histórica.

Este botón sirve para configurar y realizar análisis de sensibilidad tradicional.

El penúltimo icono se utiliza para realizar una simulación combinada con un proceso de optimización en cada iteración con el complemento Solver de Excel.

Este botón muestra información acerca de la versión del programa y datos del autor.

10.4. Simulación de Montecarlo con *SimulAr*®

Para mostrar el funcionamiento del programa se va a trabajar con el mismo ejemplo del proyecto de inversión tratado en los últimos dos capítulos. El primer paso en el armado del modelo de simulación es la definición de las variables de entrada y sus correspondientes distribuciones de probabilidad. La tabla 9.3 contiene la información necesaria para comenzar.

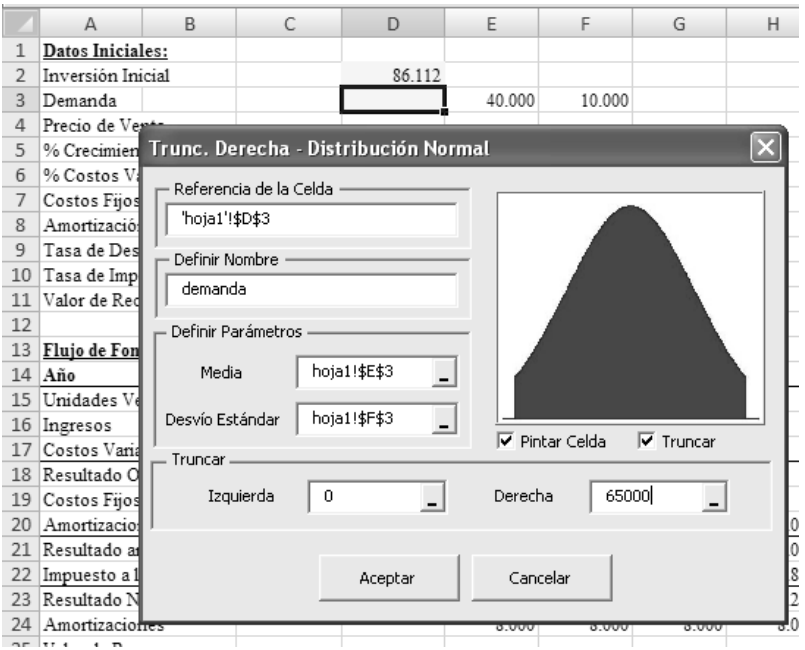


Figura 10.7 Ingreso de variables de entrada: demanda de unidades

- Celda D7: =uniformesim(20000;30000)
- Celda D11: =discretasim(43000;50000;80000;;;;0,2;0,5;0,3;;;)

En la figura 10.8 se encuentra el modelo con todas las variables de entrada ingresadas.

	A	B	C	D	E	F
1	**Datos Iniciales:**					
2	Inversión Inicial			86.134		
3	Demanda			21.595	40.000	10.000
4	Precio de Venta			5,50		
5	% Crecimiento Anual			4,57%		
6	% Costos Variables s/ Ingresos			60,44%		
7	Costos Fijos			27.452		
8	Amortización			8.000		
9	Tasa de Descuento			15%		
10	Tasa de Impuestos			35%		
11	Valor de Recupero			80.000		

Figura 10.8 Variables de entrada del proyecto de inversión

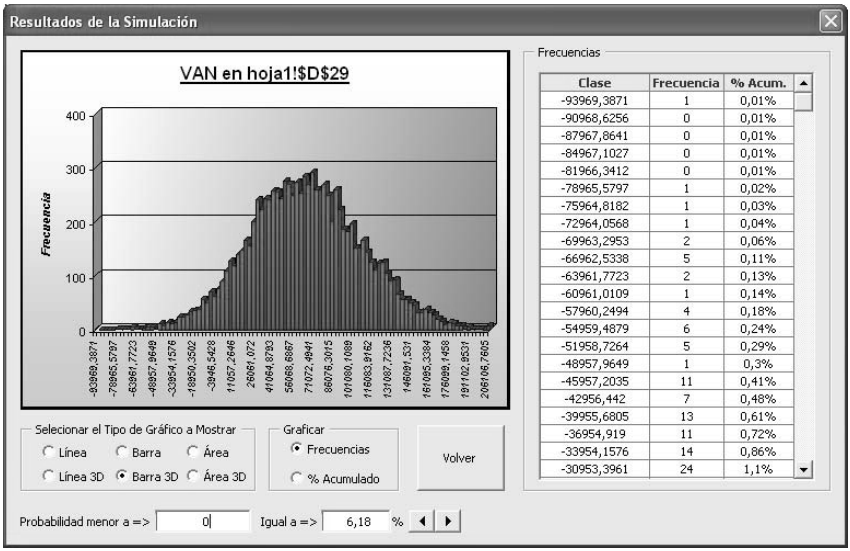


Figura 10.16 Histograma de la variable de salida VAN

En la figura 10.15 se ven las medidas estadísticas para la variable de salida VAN. El valor promedio luego de realizar 10.000 iteraciones es $ 63.475. El mínimo VAN posible que surge del análisis es ($ 93.969), mientras que el máximo valor alcanzado es $ 206.106. El desvío estándar es $ 42.843. Seleccionando el botón "Mostrar Histograma de la Variable Seleccionada" de la figura 10.15 se puede ver el histograma de frecuencias que resulta de la simulación efectuada (figura 10.16). A la izquierda de la pantalla se presenta el histograma de frecuencias y a la derecha la tabla de frecuencias respectiva. Se pueden seleccionar seis diferentes tipos de gráficos para ver el histograma: línea, barra y área ya sea en una o dos dimensiones. Los mismos tipos de gráficos se encuentran disponibles si se desea visualizar el porcentaje acumulado. Por último, en la parte inferior de la ventana es posible determinar la probabilidad de que la variable de salida seleccionada sea menor a un cierto valor. En la figura 10.16 se aprecia que la probabilidad que el VAN del proyecto sea negativo es igual al 6,18%.

10.4.6.1. Análisis de sensibilidad de la simulación

SimulAr permite al usuario detectar la incidencia que tienen las variables de entrada sobre las variables de salida. Para disponer de esta opción debe haberse habilitado la opción "Recolectar Datos de las Variables de Entrada" al ejecutar la simulación. Para mostrar el análisis de sensibilidad debe seleccionarse una variable de salida y presionar en el

salida “VAN_10” y “VAN_20” en C34 y C35 respectivamente.

Una vez asignadas las variables de salida se procede a ejecutar la simulación. En definitiva, se realizará sólo una simulación y se obtendrán los resultados para diferentes tasas de descuento. Las figuras 10.26 y 10.27 muestran los histogramas obtenidos para las variables VAN_10 y VAN_20. Las probabilidades de que el VAN sea menor a cero son iguales a 3% y 10,40% respectivamente. Recuérdese que la probabilidad de fracaso para una tasa del 15% es 6,10%.

10.5. Análisis de sensibilidad tradicional con *SimulAr*®

En el capítulo 8 se explicó la manera de realizar un análisis de sensibilidad tradicional en Excel mediante la creación de tablas. *SimulAr* permite hacer todo este trabajo en forma automática. Recordemos que el análisis de sensibilidad tradicional visualiza cómo afectaría a una variable de salida un cambio en una variable de entrada definida o a cualquier otra celda del modelo. Este efecto en el cambio se hace de a una variable por vez, manteniendo las restantes variables de entrada constantes.

SimulAr reconoce por defecto las variables de entrada ingresadas para llevar a cabo el análisis de sensibilidad. Si se desea sensibilizar alguna otra celda que no es variable de entrada, la misma debe definirse como variable de sensibilización. Por ejemplo, en el caso del proyecto de inversión puede quererse determinar el efecto de cambios en la tasa de actualización para calcular el VAN. Para definir como variable de sensibilización la celda que contiene la tasa de descuento hay que posicionarse en la celda D9 y presionar en el tercer icono de la barra de herramientas de *SimulAr* (figura 10.28). Al igual que con las variables de salida, existe la posibilidad de asignar un nombre y pintar la celda.

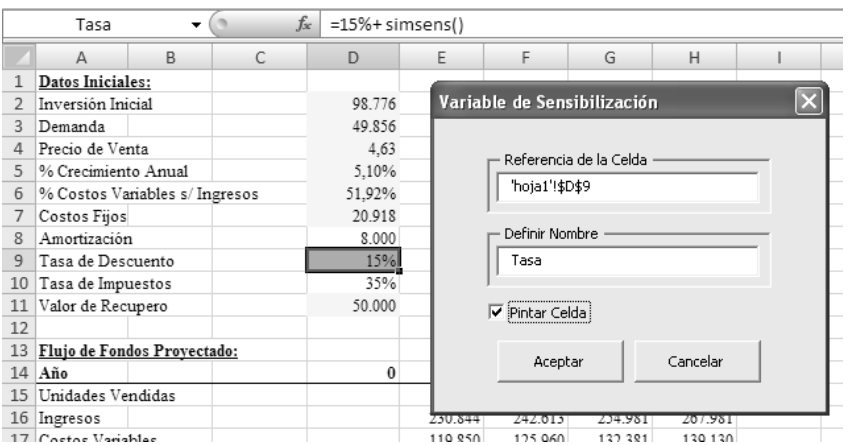


Figura 10.28 Ingreso de una variable de sensibilización con *SimulAr*

	A	B	C	D	E	F	G	H
30	Nombre	Referencia	Disminución	Aumento	Dif. Abs.	Disminución	Aumento	Dif. Abs.
31	crecimiento	hoja1'!$D$5	63.665,9392	68.062,7999	4.396,8608	0,0300	0,0500	0,0200
32	VR	hoja1'!$D$11	57.617,6342	74.084,1276	16.466,4935	43.200,0000	72.000,0000	28.800,0000
33	CF	hoja1'!$D$7	77.449,2305	54.252,5313	23.196,6992	18.750,0000	31.250,0000	12.500,0000
34	Tasa	hoja1'!$D$9	81.159,6988	52.519,0203	28.640,6785	0,1125	0,1875	0,0750
35	Inversión_Inicial	hoja1'!$D$2	89.600,8809	42.100,8809	47.500,0000	71.250,0000	118.750,0000	47.500,0000
36	demanda	hoja1'!$D$3	24.271,5427	107.430,2191	83.158,6765	30.000,0000	50.000,0000	20.000,0000
37	precio_venta	hoja1'!$D$4	24.271,5427	107.430,2191	83.158,6765	3,7500	6,2500	2,5000
38	CV	hoja1'!$D$6	122.105,2797	9.596,4821	112.508,7976	0,4313	0,7188	0,2875
39								

Figura 10.31 Informe del análisis de sensibilidad tradicional en Excel (continuación)

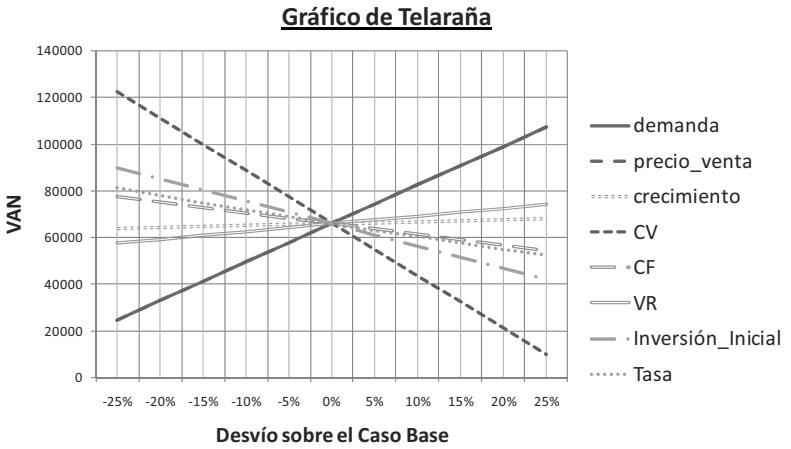


Figura 10.32 Gráfico de telaraña del análisis de sensibilidad tradicional

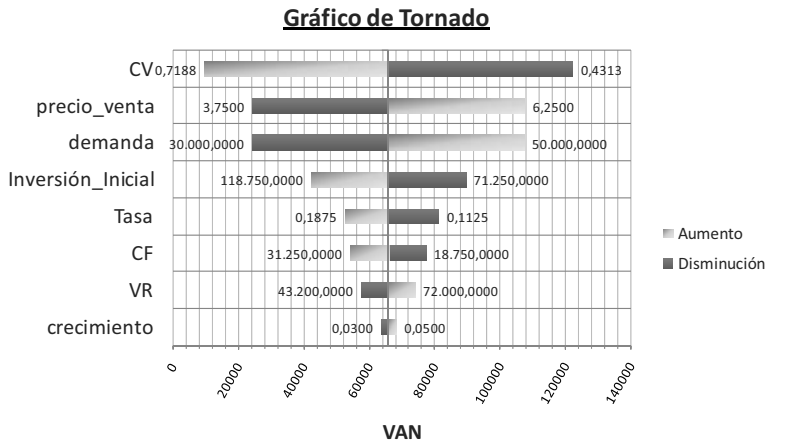


Figura 10.33 Gráfico de tornado del análisis de sensibilidad tradicional

C43 =PENDIENTE(C3:C41;B3:B41)

	A	B	C
1	Fecha	S&P500	Microsoft
2			
3	25-08-2008	-1,98%	-0,65%
4	22-08-2008	1,13%	2,40%
5	21-08-2008	0,25%	-0,40%
6	20-08-2008	0,62%	-0,11%
7	19-08-2008	-0,94%	-1,35%
8	18-08-2008	-1,52%	-0,43%
9	15-08-2008	0,41%	-0,36%
30	17-07-2008	1,19%	0,95%
31	16-07-2008	2,48%	4,16%
32	15-07-2008	-1,10%	3,90%
33	14-07-2008	-0,91%	-0,40%
34	11-07-2008	-1,12%	-0,79%
35	10-07-2008	0,70%	0,87%
36	09-07-2008	-2,30%	-2,43%
37	08-07-2008	1,69%	-0,69%
38	07-07-2008	-0,84%	0,19%
39	03-07-2008	0,11%	0,39%
40	02-07-2008	-1,84%	-3,75%
41	01-07-2008	-0,26%	-2,35%
42			
43		Beta	0,90

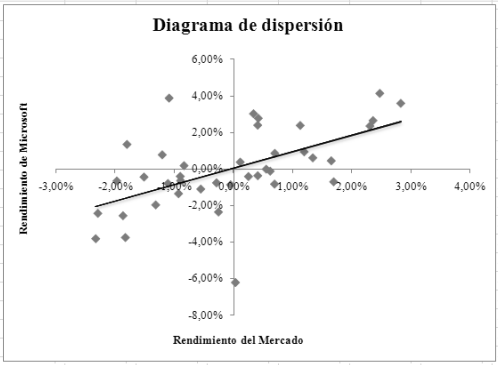


Figura 12.7 Cálculo del riesgo sistemático de una acción en Excel

nueva información.

Una forma adicional de calcular la beta es haciendo:

$$\beta_i = \frac{\rho_{i,m} \times \sigma_i \times \sigma_m}{\sigma_m^2} = \frac{\text{cov}(i,m)}{\sigma_m^2}$$

Donde $\rho_{i,m}$ es el coeficiente de correlación entre los rendimientos del activo *i* y el mercado *m*, σ_i es el desvío estándar de *i*, σ_m es el desvío estándar de *m*, $\text{cov}(i,m)$ es la covarianza entre el rendimiento de *i* y *m* y σ_m^2 es la varianza del rendimiento del índice de mercado *m*. El lector puede comprobar la coincidencia de la ecuación con el valor obtenido con la función "pendiente" de Excel.

12.4.4. Definición de variables de entrada en base al modelo de regresión simple lineal

Los resultados obtenidos en las estimaciones de un modelo de regresión lineal pueden ser de gran utilidad a la hora de establecer las variables de entrada de un modelo de simulación. Recuérdese que el término del error ε indica la parte de las predicciones que no son explicadas por la variable independiente y ese error debe distribuirse con una curva normal. Entonces, las predicciones realizadas tendrán una media calculada mediante la ecuación de regresión estimada, pero estarán sujetas a variaciones alrededor de esa línea de regresión. La figura 12.8 refleja este

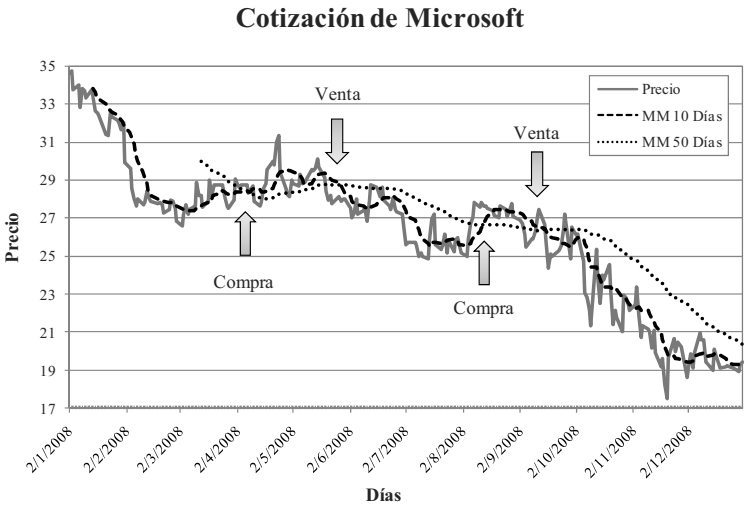


Figura 12.20 Análisis técnico con medias móviles

mantiene hasta finales del 2008. ¿Cuál habría sido el resultado si se hubiese seguido esta estrategia? Si no se consideran comisiones ni gastos y se cancela la posición al finalizar el año se habrían invertido 26,64 dólares por acción en la primer compra y vendido a 27,61 en la segunda señal obteniendo una utilidad de 0,97 por acción o un retorno del 3,64%. En la tercer señal se hubiese comprado a 28,14 y vendido en la cuarta señal a 28,34, es decir, una utilidad de 0,20 o un retorno del 0,71%. Lógicamente hubiese sido más conveniente saltear la tercera señal y directamente vender en descubierto en la cuarta señal cerrando la posición al finalizar el año resultando en una ganancia muy superior. Las señales falsas pueden hacer que la rentabilidad sea menor o incluso se produzcan pérdidas. Por este motivo los intervalos para el cálculo de las medias móviles deben escogerse con cuidado.

12.5.2. Suavización exponencial simple

Otra técnica para realizar pronósticos de series de tiempo es la suavización exponencial simple. Básicamente, la metodología consiste en hacer un promedio ponderado dándole más peso a las observaciones recientes. En la suavización exponencial simple, la predicción se efectúa utilizando la observación del período anterior ponderada por un factor α más el pronóstico realizado en período anterior ponderado por $(1-\alpha)$. La ecuación resultante es la siguiente:

$$P_t = \alpha \times x_{t-1} + (1-\alpha) \times P_{t-1}$$

K22 =normalsim(PRONOSTICO(J22;I2:I17;B2:B17);K18)

	I	J	K	L	M
20	Año	Trimestre	Ventas sin	Índice Est.	Ventas con
21			Estacionalidad	Ajustado	Estacionalidad
22	5	17	5.708	0,904	5.160
23		18	5.766	0,850	4.902
24		19	5.434	1,097	5.963
25		20	5.763	1,148	6.619
26			**Pronóstico de Ventas Anual**		22.644

Figura 12.33 Pronóstico de ventas y variable de salida de la simulación

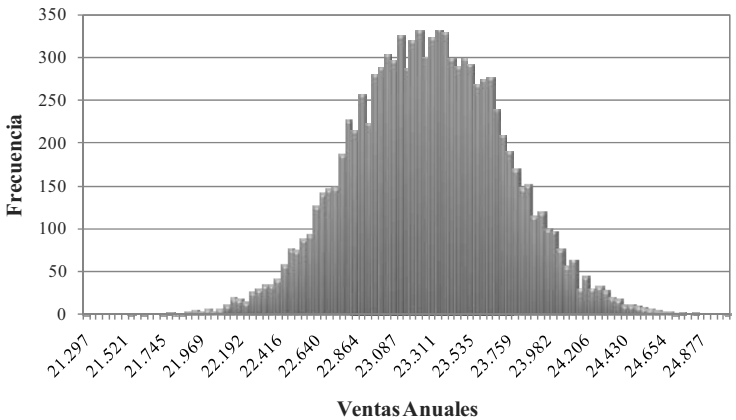


Figura 12.34 Histograma de la variable de salida de la simulación

La figura 12.34 contiene el histograma de las ventas anuales en miles de pesos simuladas para 10.000 iteraciones. El promedio de ventas pronosticado para el próximo año es $ 23.269.710. El 90% de los valores probables se encuentran entre $ 22.543.263 y $ 23.839.797.

12.5.6. Modelo multiplicativo con ciclos

Matemáticamente, el modelo multiplicativo puede utilizarse cuando existen ciclos en la serie de tiempo. La ecuación puede expresarse como:

$$Y_t = T_t \times E_t \times I_t \times C_t$$

En donde C_t es el ciclo del período. El análisis es similar al utilizado para estacionalidad con la diferencia que cuando se habla de ciclos se hace referencia al largo plazo. Sin embargo, como consecuencia de la longitud

	A	B	C	D	E
1	Producto	**I**	**II**	**III**	
2	Cantidad a producir	1.000	1.000	1.000	
3					
24	Precio de Venta	75	60	45	
25	Media	1.000	2.000	3.000	
26	Desvío Estándar	200	200	500	
27	Demanda	757	1.978	2.506	
28					
29	Unidades Vendidas	757	=MIN(D2;D27)		
30	Monto de Ventas	56.790	60.000	45.000	**161.790**
31					
32	**Resultado Final**	**137.814**			

Figura 13.15 Cálculo de las unidades vendidas

I28 =simcorrel(Hoja1!$C$27;Hoja1!$B$27;-0,7)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
24	Precio de Venta	75	60	45							
25	Media	1.000	2.000	3.000				**Matriz de correlaciones entre productos**			
26	Desvío Estándar	200	200	500					oja1'!B.oja1'!C.oja1'!$D$25		
27	Demanda	675	2.216	2.939				'Hoja1'!B.	1	-0,7	0,5
28								'Hoja1'!C	-0,7	1	-0,8
29	Unidades Vendidas	675	1.000	1.000				'Hoja1'!D	0,5	-0,8	1
30	Monto de Ventas	50.600	60.000	45.000	**155.600**						
31											
32	**Resultado Final**	**131.624**									

Figura 13.16 Ingreso de matriz de correlaciones de la demanda

=E30-J23+ vsalida()

Según el planteo del problema, existe interdependencia entre las demandas de cada producto que deben ser modeladas ingresando una matriz de correlaciones siguiendo el procedimiento descripto en la sección 10.4.2 del capítulo 10. La matriz de correlaciones se ingresó en el rango de celdas H26:K29 según se aprecia en la figura 13.16. A modo de ejemplo, la celda I28 contiene la correlación entre la demanda de los productos I y II:

=simcorrel(C27; B27;-0,7)

Hasta aquí el modelo desarrollado es un modelo de simulación estándar. Sin embargo, se desea obtener el número de unidades a producir óptimo para cada producto. La palabra “óptimo” implica que existirá algún tipo de optimización en el modelo. Si la estimación de la demanda no fuera incierta y no existiera dependencia entre los distintos productos, el problema se resuelve maximizando el resultado final cambiando las

Valores Mínimos

	A	B	C	D	E
1	80	117	162	33	31
2	31	19	36	75	84
3	98	-	52	80	61
4	72	28	168	-	59

Valores Más Probables

A	B	C	D	E
161	147	203	84	63
63	49	91	126	140
196	-	71	100	77
182	56	210	-	119

Valores Máximos

	A	B	C	D	E
1	193	191	284	109	75
2	81	68	127	176	182
3	254	-	98	118	100
4	254	78	273	-	142

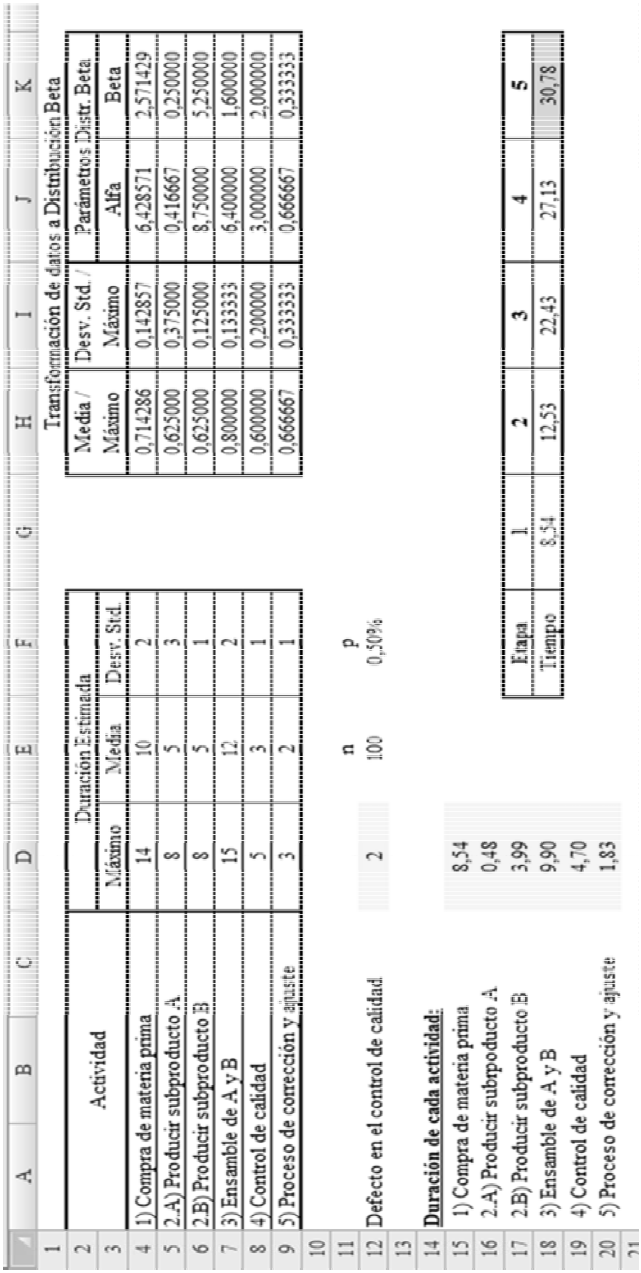
Tabla 14.3 Tiempos de producción según máquina y proceso (en minutos)

14.3. Modelos de asignación de recursos o tareas

Los problemas de asignación de recursos o tareas están basados en la existencia de un número determinado de agentes, por ejemplo, personas, y un número establecido de actividades. A cada agente se le asigna una tarea de manera tal que el costo total incurrido sea el menor posible. De esta manera, es posible inferir que a aquellas personas con ciertas habilidades o entrenamiento para algún tipo de actividad particular generarán un costo menor que si las mismas actividades son realizadas por inexpertos. Estos modelos no son aplicables sólo a personas sino que pueden analizarse máquinas, vehículos o procesos. En líneas generales, un modelo de asignación requiere que se cumplan las siguientes condiciones:

- El número de tareas o actividades es igual al número de agentes.
- A cada agente se le asigna una y sólo una actividad y cada actividad es realizada por un único agente.
- Existe un costo asociado a cada agente que realiza una determinada actividad.

Supongamos que el departamento de producción de una fábrica desea asignar los cuatro procesos que requiere la elaboración de un producto y para ello cuenta con cinco máquinas disponibles identificadas como A, B, C, D y E. Dependiendo de la máquina, cada proceso de producción demandará un tiempo cuya precisión no es posible determinar con exactitud. Sin embargo, cálculos realizados, permiten inferir que el tiempo en minutos que demora cada proceso puede ser modelado siguiendo una distribución triangular con los parámetros indicados en la tabla 14.3. Por



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1								Transformación de datos a Distribución Beta			
2	Actividad			Duración Estimada				Media / Máximo	Desv. Std. / Máximo	Parámetros Distr. Beta	
3				Máximo	Media	Desv. Std.				Alfa	Beta
4	1) Compra de materia prima			14	10	2		0,714286	0,142857	6,428571	2,571429
5	2.A) Producir subproducto A			8	5	3		0,625000	0,375000	0,416667	0,250000
6	2.B) Producir subproducto B			8	5	1		0,625000	0,125000	8,750000	5,250000
7	3) Ensamble de A y B			15	12	2		0,800000	0,133333	6,400000	1,600000
8	4) Control de calidad			5	3	1		0,600000	0,200000	3,000000	2,000000
9	5) Proceso de corrección y ajuste			3	2	1		0,666667	0,333333	0,666667	0,333333
10											
11					n	p					
12	Defecto en el control de calidad			2	100	0,50%					
13											
14	Duración de cada actividad:							Etapa	1	2	3	4	5
15	1) Compra de materia prima			8,54				Tiempo	8,54	12,53	22,43	27,13	30,78
16	2.A) Producir subrpoducto A			0,48									
17	2.B) Producir subproducto B			3,99									
18	3) Ensamble de A y B			9,90									
19	4) Control de calidad			4,70									
20	5) Proceso de corrección y ajuste			1,83									
21													

Figura 14.15 Construcción del modelo de gestión de proyectos en Excel

En la celda B17 se estima el porcentaje de clientes que volverán al mes siguiente a realizar la compra debido al agotamiento del stock utilizando una distribución uniforme con mínimo igual a 30% y máximo de 50% como variable de entrada:

=uniformesim(30%;50%)

La celda B18 contiene el número de unidades que no han podido ser vendidas por carecer de suficiente inventario:

=MAX(B13-B12;0)

Con los datos hasta ahora ingresados, es posible definir la orden de compra a efectuar. En la celda B15 se ingresa:

=SI(B14<$B$4;$B$4-B14;0)+ENTERO(B18*B17)

La primer parte de la ecuación es un condicional indicando que si el inventario al finalizar el mes es menor que el stock de seguridad propuesto se procede a ordenar una cantidad igual a la diferencia entre el stock de seguridad y las unidades que quedaron en el depósito. En caso contrario, no se deben ordenar nuevas unidades. La segunda parte de la ecuación refleja las unidades adicionales que deben adquirirse para abastecer a los clientes que volverán al mes siguiente a realizar su compra cuando haya stock disponible.

En la celda B19 se computa la penalización por la oportunidad de venta perdida por no contar con inventario suficiente:

=ENTERO(SI(B18>0;B18*$B$8*(1-B17);0))

Es decir, si existe demanda insatisfecha, la penalización es igual al número de unidades no vendidas en el mes multiplicado por el porcentaje de clientes que no volverán a comprar el mes siguiente y probablemente hayan efectuado su compra en alguna otra empresa.

La celda B20 contiene el costo total de la orden de compra, asumiendo que se paga íntegramente al momento de realizarla. En la celda B21 se ingresa el costo fijo incurrido por cada orden efectuada:

=SI(B15>0;$B$6;0)

La celda B22 contiene el costo de mantenimiento de las unidades que quedan en stock de un mes al otro. La celda B23 refleja el costo total del mes sumando los conceptos del rango B19:B22.

Al igual que en el caso de la demanda, el resto de los valores mensuales

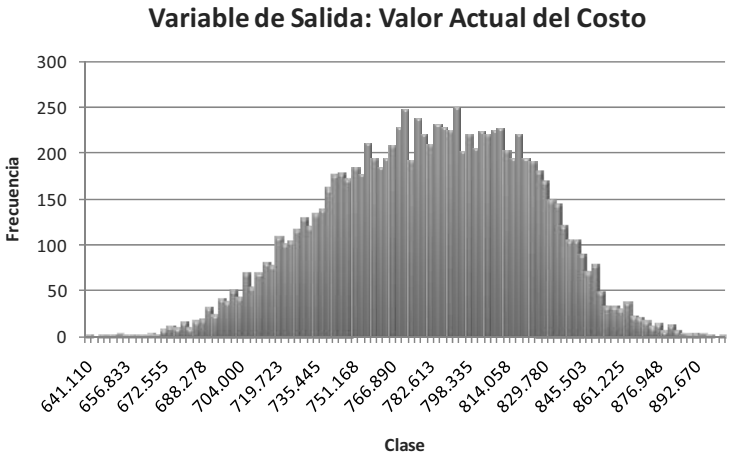


Figura 14.21 Histograma de frecuencias del valor actual del costo incurrido hasta el primer reemplazo

51 días después de falla anterior. Lo mismo ocurre para el cómputo del próximo mantenimiento preventivo teórico. La celda B15 contiene:

=C14+$B$5

Es decir, al tiempo del período anterior se le suman 90 días. Copiando las funciones hacia abajo un número razonable de filas (en el ejemplo se simulan 47 fallas) el modelo queda preparado para correr la simulación. La figura 14.21 muestra el histograma de frecuencias para el valor actual del costo hasta el primer reemplazo luego de realizadas 10.000 iteraciones. El costo promedio incurrido hasta el primer reemplazo asciende a $ 780.766.

14.7. Problemas de colas de espera

Los problemas de colas de espera son muy comunes en nuestra vida cotidiana. Sólo por mencionar algunos, el tiempo de espera en un consultorio médico hasta el momento de ser atendido, la demora en cargar combustible para nuestro automóvil, la espera en la caja registradora de un supermercado o la espera en una entidad bancaria para el pago de algún servicio dan cuenta de la innumerable cantidad de situaciones de este tipo.

Los modelos de simulación pueden ser de gran ayuda a la hora de planificar un proceso que involucre colas de espera. En general, el interés estará puesto en la fracción de tiempo que el proceso se encuentra ocupado atendiendo clientes y el número esperado de clientes que se presentan en la cola. De esta manera, puede ser posible, por ejemplo, determinar el número de cajas registradoras necesarias para una atención al público en forma

15
Proyección de estados financieros y valuación de acciones

15.1. Resumen del capítulo

En este capítulo se desarrolla un modelo de proyección de estados contables y financieros mediante la utilización de ratios e incorporando la simulación de Montecarlo como fuente generadora de riesgo en ciertas variables. Además se calcula el flujo de fondos del accionista para determinar el valor de las acciones de una empresa.

15.2. Introducción

El proceso de planificación financiera requiere la habilidad de proyectar en términos monetarios la evolución futura de una empresa. La planificación financiera permite a los directivos de la organización obtener una estimación del comportamiento de la empresa de manera que éstos puedan tomar decisiones de acuerdo a los objetivos que se hayan planteado, identificar posibles riesgos, establecer pautas de crecimiento, diagnosticar problemas futuros de rentabilidad o necesidad de fondos, etc.

De manera concisa, la proyección de estados financieros involucra la construcción de tres estados básicos: el estado de situación patrimonial, el cual refleja la situación del patrimonio de una empresa a un momento dado; el estado de resultados, que mide las pérdidas o costos y ganancias de la compañía; y el estado de flujos de efectivo o flujo de fondos, el cual informa sobre los movimientos reales de efectivo. Este último estado cobra importancia a la hora de realizar una valuación de la empresa, por ejemplo,

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
44	Supuestos de Proyección								
45		Histórico			Proyectado				
46	Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
47									
48	Variación Ventas		10,00%	10,00%	8,18%	13,01%	8,77%	5,55%	3,64%
49	CMV / Ventas	50,00%	50,00%	50,00%	53,62%	42,30%	44,30%	55,19%	51,56%
50	Variación Gastos de Administración		7,22%	4,15%	7,26%	5,61%	4,48%	7,17%	6,27%
51	Gastos de Comercialización s/ Ventas	9,80%	10,00%	11,82%	10,64%	10,94%	9,63%	10,70%	9,57%
52	Dias de Cobro	91,25	92,91	66,36	71,88	62,97	72,61	59,10	59,62
53	Dias de Pago		105,53	97,99	89,63	93,07	114,26	76,04	101,08
54	Dias de Stock	80,30	68,35	56,71	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
55	Compras de Bienes de Uso		0,00	231,07	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
56	Amortizaciones	78,00	94,00	134,00	139,00	139,00	139,00	139,00	139,00
57	Variación Deuda Bancaria		-21,21%	-7,69%	-10,00%	-10,00%	-10,00%	-10,00%	-10,00%
58	Tasa de interés de la Deuda	13,03%	14,62%	13,33%	14,00%	15,00%	16,00%	16,00%	16,00%
59	Interés ganado por Fondos de Corto Plazo	4,17%	4,19%	5,30%	4,50%	4,50%	4,50%	4,50%	4,50%
60	Tasa de Impuesto a las Ganancias	35,00%	35,00%	35,00%	35,00%	35,00%	35,00%	35,00%	35,00%
61	Tasa de Pago de Dividendos	40,00%	45,00%	49,00%	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%
62									
63	ROE: Utilidad Neta / PN	13,25%	13,96%	11,10%	9,60%	27,93%	27,78%	13,69%	18,92%
64	ROI: EBIT / Activos	14,01%	15,61%	12,74%	11,20%	30,08%	29,21%	14,63%	19,64%
65	RE: (EBIT + Impuestos) / Activos	10,40%	11,29%	9,16%	7,99%	19,94%	19,06%	9,34%	12,32%
66	Pasivo / Activo	49,42%	42,54%	40,12%	37,98%	32,55%	32,15%	28,25%	28,09%
67									
68	Compras		543,00	596,00	684,74	617,32	722,35	962,03	904,31
69									

Figura 15.3 Cálculo de ratios

	A	B	C	D	E
1	**Acción**	**A**	**B**	**C**	
2	Porcentaje invertido	23%	44%	33%	100%
3	Media	10%	15%	20%	
4	Desvio estándar	5%	6%	9%	
5	Retorno	9,01%	20,89%	25,73%	
6					
7	**Matriz de correlaciones**				
8		A	B	C	
9	A	1	0,37	-0,33	
10	B	0,37	1	0,38	
11	C	-0,33	0,38	1	
12					
13	**Matriz de varianzas y covarianzas**				
14		A	B	C	
15	A	0,002500	0,001110	-0,001485	
16	B	0,001110	0,003600	0,002052	
17	C	-0,001485	0,002052	0,008100	
18					
19	Retorno esperado de la cartera	20%			
20	Riesgo de la cartera	4,80%			
21	Tasa libre de riesgo	4,85%			
22	Ratio de Sharpe	3,10			
23					

Figura 16.7 Modelo de simulación de selección de carteras

La figura 16.7 muestra el modelo de simulación en Excel. El primer paso es asignar porcentajes de inversión iniciales a cada acción en el rango B2:D2 de manera que sumen 100%. La celda E2 efectúa este control haciendo =SUMA(B2:D2). En las filas 3 y 4 se ingresan los supuestos para simular los retornos de las acciones. En la fila 5 se definen las variables de entrada del modelo que son los retornos esperados de cada activo. Por ejemplo, la celda B5 contiene la función =normalsim(B3;B4).

Para calcular el riesgo de la cartera es necesario definir la estructura de correlaciones de acuerdo a la tabla 16.1. La matriz de correlaciones es ingresada con la opción de *SimulAr* a partir de la fila 7. Por ejemplo, en la celda B16 se computa:

=simcorrel(C5;B5;0,37)

En base a la matriz de correlaciones se puede crear la matriz de varianzas y covarianzas para calcular el riesgo de la cartera. Recordemos del capítulo 7 que la covarianza entre dos variables es igual al coeficiente de correlación entre ellas multiplicado por los desvíos estándar respectivos. En el rango de celdas B15:D17 se realizan estos cálculos. A modo de ejemplo, la celda B15 contiene la fórmula =C9*B4*C4. Nótese que la diagonal de esta matriz refleja las varianzas de cada activo.

En la celda B19 se calcula el retorno esperado de la cartera. Para ello,

curva dejando afuera un 5% de observaciones. El *VaR* al 5% es la diferencia entre el valor de la cartera al momento del análisis y el valor de corte. Entonces en la celda B25 se ingresa =C21-C24 y se obtiene un *VaR* igual a $ 9.309. Dado un 95% de confianza, la máxima pérdida que la cartera puede sufrir en un día es de $ 9.309.

16.5.2. Cálculo del *VaR* por simulación

En el apartado anterior se estimó el *VaR* asumiendo normalidad en los retornos de las acciones. Existen otras dos metodologías de cálculo. La primera de ellas es el método no-paramétrico o por simulación histórica en el cual se asume que todas las variaciones posibles en la cartera ya han ocurrido en el pasado y, por lo tanto, la distribución del valor de la cartera considerando los datos históricos de la misma será la misma en el futuro. La limitación de esta metodología radica en el tamaño de la muestra utilizado para el cálculo ya que ésta debe ser lo suficientemente grande como para incluir valores extremos en las colas de la distribución. Sin embargo, no tiene la restricción de suponer algún tipo específico de distribución de probabilidad como en el caso paramétrico.

Otra metodología para el cálculo del *VaR* es la simulación de Montecarlo, la cual da una mayor flexibilidad a la hora de establecer supuestos. En su forma más primitiva, el *VaR* por Montecarlo asume que los retornos se distribuyen normalmente y que la matriz de varianzas y covarianzas captura todas las dependencias posibles entre los activos que componen la cartera. El siguiente es un ejemplo sencillo en el cual se determina el *VaR* por simulación de Montecarlo. De nuevo, se consideran tres acciones con los supuestos indicados en la tabla 16.3 y asumiendo normalidad. La media y el desvío estándar de los retornos de cada acción están expresados en términos anuales. Se quiere conocer el *VaR* a un año para una confianza del 99%.

En la figura 16.16 se desarrolla el modelo de simulación. En el rango

	A	B	C
Media	15%	22%	13%
Desvío estándar	14%	25%	10%
Proporciones a invertir	30%	30%	40%
Precio actual	14	17	15

Correlaciones	**A**	**B**	**C**
A	1,00	0,60	0,45
B	0,60	1,00	0,90
C	0,45	0,90	1,00

Tabla 16.3 Supuestos de la cartera

G36 contiene =G35+(F36-G35)*(1/(1+9)). La columna H se denomina *histograma* y mide la diferencia entre el *MACD* y la línea de señal. Por ejemplo, la celda H35 contiene =F35-G35.

La figura 16.21 muestra una simulación de la secuencia de precios aleatoria de la figura 16.20. En el gráfico superior se observa el precio de la acción (línea fina) y el comportamiento de las medias móviles exponenciales. El gráfico inferior describe la evolución del indicador *MACD* (línea gruesa), la línea de señal (línea punteada) y el histograma. Como se mencionó anteriormente, cuando la curva *MACD* corte por encima a la línea de señal existirá una decisión de compra. Por ejemplo, en el día 14 claramente se observa una señal de compra. Del mismo modo, en el día 146 existe una señal de venta, es decir, la curva *MACD* corta hacia abajo a la curva de señal.

En las columnas I y J de la figura 16.20 se establecen las ecuaciones para estimar las órdenes de compra y venta. Para el ejemplo, se asume la compra de 10.000 acciones con un costo de transacción de 0,40% sobre el monto total. Existirá una orden de mercado cuando las curvas *MACD* y señal se crucen. Desde la figura 16.21 puede observarse que ello sucede cuando el valor del histograma cambia de signo.

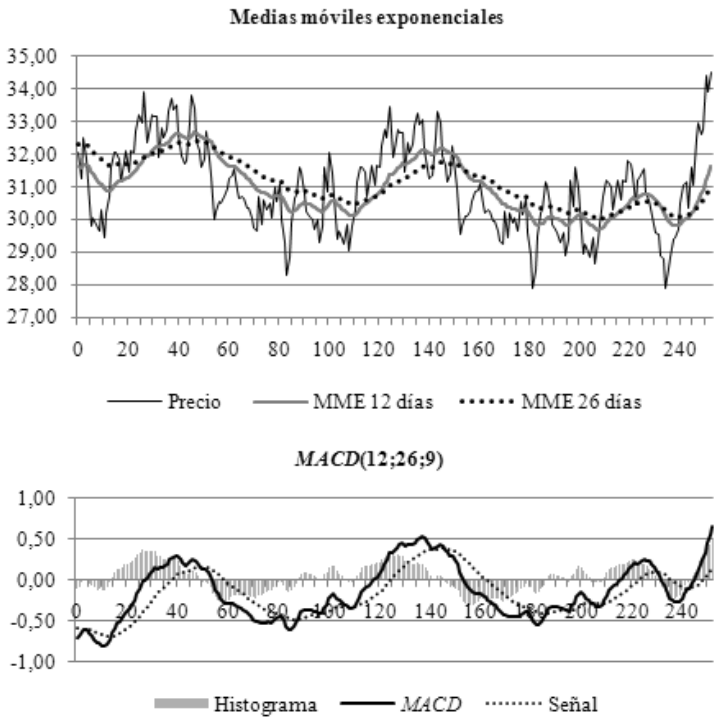


Figura 16.21 Medias móviles exponenciales y *MACD*

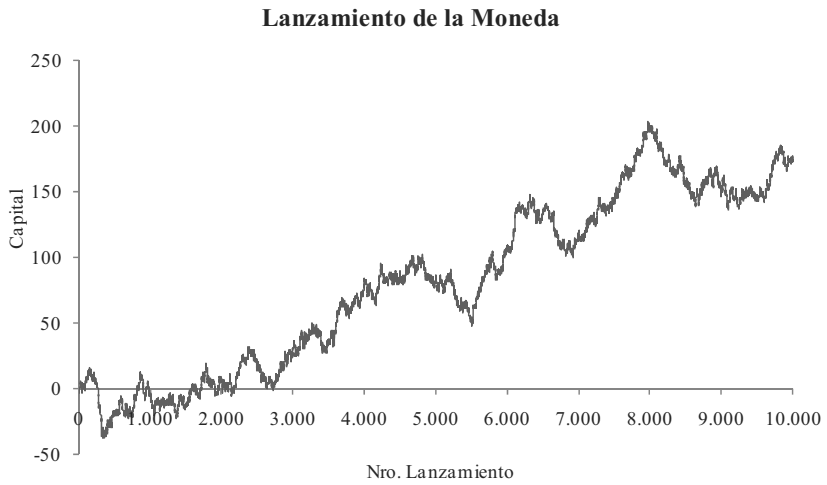


Figura 17.1 Simulación del lanzamiento de una moneda

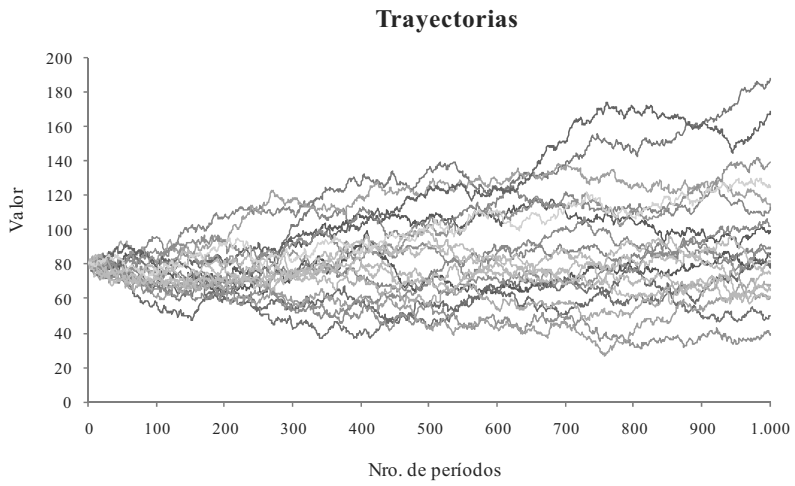


Figura 17.2 Simulación de trayectorias de un movimiento browniano estándar

libro, puede demostrarse que el proceso tiene incrementos independientes y estacionarios, entonces:

$$W_t \sim N\left(0; \sigma\sqrt{t}\right)$$

Es decir, el movimiento browniano se distribuye en forma normal con media igual a cero y desvío estándar igual a $\sigma\sqrt{t}$. Cuando $\sigma = 1$, se obtiene un movimiento browniano estándar. Adicionalmente, el proceso no

Put | fx | =MAX(0;B2-B98)*EXP(-B4*B5)+ vsalida()

	A	B	C	D	E	F
1	Precio actual	80				
2	Precio de ejercicio	100				
3	Volatilidad	20%				
4	Tasa de interés	4%				
5	Tiempo al vencimiento	0,2466				
6						
7	Dia	Precio	Resultado	12,33		
8	0	80,00				
9	1	80,53				
10	2	80,14				
11	3	80,29				
12	4	80,41				
13	5	81,34				
97	89	87,26				
98	90	87,55				
99						

Figura 17.11 Modelo en Excel para el cálculo del valor de una opción de venta por simulación

Figura 17.12 Histograma de frecuencias de la simulación de un put

En la figura 17.11 se detalla el modelo en Excel para realizar la simulación de un put similar al planteado en la figura 17.9. Al igual que en ejemplo anterior, el rango de celdas B1:B5 contiene los datos iniciales. En el rango B8:B98 se genera la secuencia de precios para un período de 90 días. La celda B8 referencia al precio inicial y en la celda B9 se ingresa =B8*lognorm2sim($B$4;$B$3;$B$5/90). Nótese que el intervalo de tiempo en años se divide por 90 días para obtener el intervalo de tiempo correcto para simular la trayectoria diaria. Copiando hacia abajo se determina el resto de las variables de entrada. Una forma alternativa de

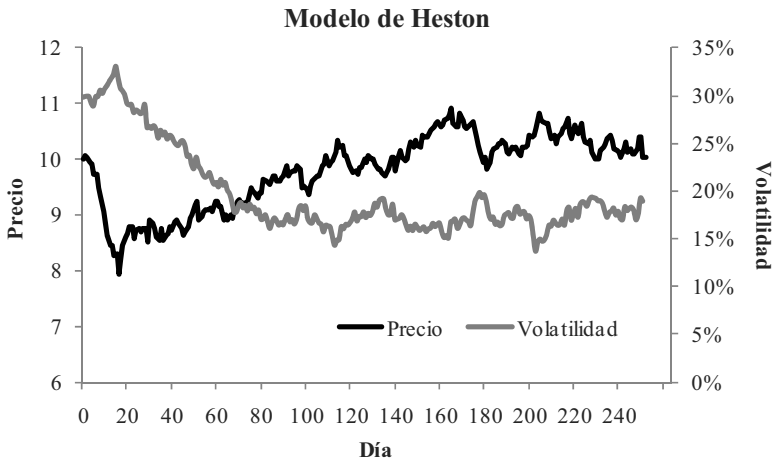


Figura 17.21 Simulación del modelo de Heston

Call | fx | =MAX(0;E37-H1)*EXP(-B2*30/365)+ vsalida()

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Precio actual	10		α	5	Precio de ejercicio		8
2	Rendimiento	6%		δ	20%			
3	Volatilidad inicial	30%		ρ	-0,80		Resultado	2,89
4	Vol. largo plazo	20%		dt	0,0040			
5								
6		Z_t	W_t	σ_t	S_t			
7	0			30,00%	10,00			
8	1	0,4152	1,2273	30,09%	10,08			
9	2	-0,2890	-0,1145	30,02%	10,03			
10	3	1,0931	-1,9016	28,55%	10,23			
11	4	0,5623	0,4939	28,31%	10,33			
12	5	1,4029	-0,6027	27,21%	10,58			
13	6	1,0070	0,0210	26,58%	10,76			
14	7	0,4903	0,6158	26,45%	10,85			
15	8	0,0706	-0,3985	26,15%	10,87			
35	28	-0,3299	0,1129	27,82%	10,68			
36	29	0,4961	0,1917	27,51%	10,78			
37	30	0,6686	0,4082	27,20%	10,90			

Figura 17.22 Valuación de opciones en Excel con el modelo de Heston

la curva suave indica el recorrido de la volatilidad sobre el eje derecho. Como puede observarse, la volatilidad tiende al valor de equilibrio establecido.

El desarrollo del modelo de Heston en Excel se encuentra en la figura 17.22. Las primeras cuatro filas contienen los supuestos iniciales antes mencionados. En las columnas B y C se generan las dos variables aleatorias normales independientes con la función =normalsim(0;1). En la celda D7 se introduce la volatilidad inicial σ_0. En la celda D8 se ingresa

	A	B	C	D	E	F	G
1	VP Flujos Fondos	25	Ahorro por contracción		6		
2	Volatilidad	40%	Factor de contracción		0,80		
3	Tasa de interés	4%					
4	Tiempo al vencimiento	5		u	1,4918		
5	Número de nodos	5		d	0,6703		
6	*dt*	1		p	0,4510		
7							
8	Árbol de precios:						
9							184,73
10						123,83	
11					83,00		83,00
12				55,64		55,64	
13			37,30		37,30		37,30
14		25,00		25,00		25,00	
15			16,76		16,76		16,76
16				11,23		11,23	
17					7,53		7,53
18						5,05	
19							3,38
20							
21	Árbol de valuación de la opción:						
22							184,73
23						123,83	
24					83,00		83,00
25				56,03		55,64	
26			38,37		38,03		37,30
27		26,90		26,72		26,40	
28			19,48		19,41		19,41
29				14,99		14,99	
30					12,02		12,02
31						10,04	
32							8,71
33							

Figura 17.32 Opción de contracción de un negocio

finales y consiste en determinar la conveniencia de contraer parte del negocio o seguir operando de la misma manera. Aquella opción que presente un valor actual más alto será la alternativa a seguir. Por ejemplo, en la celda G26 se introduce la ecuación =MAX(G13*$E$2+$E$1;G13). En este caso, contraerse implica un valor actual de $ 35,83 millones mientras que continuar de la misma manera arroja un valor actual de $ 37.30 millones, por lo tanto, es conveniente esta última opción.

Como se dijo con anterioridad, la valuación a través del árbol se hace desde atrás hacia adelante a partir de los nodos terminales recurriendo a la ponderación *p*. Por ejemplo, en la celda D25 se ingresa:

=MAX(D12*$E$2+$E$1;(E24*$E$6+E26*(1-$E$6))*EXP(-$B$3*$B$6))

Es decir, la comparación se efectúa tomando el valor actual del valor esperado de los valores de los nodos inmediatos posteriores:

H4 =BUSCARV(H1;A3:D102;3;FALSO)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Tasas spot de bonos cupón cero					Número aleatorio	62	
2	Día	1 año	2 años	3 años					
3	1	4,0600%	6,0300%	8,0700%			1 año	2 años	3 años
4	2	4,0178%	6,0130%	7,9975%		Tasas spot bootstrap	4,5196%	6,7387%	9,5152%
5	3	4,1625%	6,1930%	8,0008%					
6	4	4,0977%	6,3955%	7,9603%		Valuación del bono:			
7	5	4,1683%	6,3244%	8,0559%			1 año	2 años	3 años
8	6	4,1944%	6,3081%	8,0959%		Flujo de fondos	10,0000	10,0000	110,0000
9	7	4,1378%	6,3090%	8,1555%		Valor actual del flujo	9,5676	8,7772	83,7471
10	8	4,1360%	6,3839%	8,1939%		Valor actual del bono	102,0919		
11	9	4,2680%	6,4868%	8,2840%					
101	99	4,8325%	7,2928%	10,2503%					
102	100	4,9394%	7,3978%	10,4403%					
103									

Figura 18.6 Obtención de tasas spot por *bootstrap*

El modelo de valuación por ajuste de distribuciones de las variaciones intradiarias de las tasas también tiene sus desventajas. Por ejemplo, en períodos de alta inestabilidad económica o cuando se presentan *clusters* de volatilidad, la valuación bajo esta metodología no es conveniente y modelos de series de tiempo más avanzados como el GARCH pueden brindar mejores estimaciones.

18.6. Estrategia de inmunización

La inmunización es una estrategia que tiene como objetivo minimizar el impacto de los cambios en las tasas de interés en el valor de un activo o portfolio. La inmunización busca *"bloquear"* el efecto de las tasas de interés en la valuación y asegurar un retorno determinado para la totalidad del horizonte de tiempo de una inversión. Esta estrategia supone una estructura de tasas de interés plana en donde los cambios son paralelos.

Un ejemplo clásico de aplicación de este concepto se encuentra en los fondos de pensiones, los cuales deben efectuar obligatoriamente ciertos pagos a sus afiliados al cabo de un número de años. Para ello, se invierten los activos que el fondo posee para repagar sus pasivos en el futuro. En esta dinámica, un cambio en la tasa de interés puede provocar un desbalance que impida cumplir con el desembolso establecido y cuando la tasa de interés cambia, el valor actual del pasivo del fondo también cambia. La idea detrás de la estrategia de inmunización es eliminar la exposición a la volatilidad de la tasa de interés y la manera de lograr este objetivo es igualar la duración de los activos y pasivos del fondo.

Supongamos que una compañía ha tomado un préstamo de $ 100.000 y se encuentra obligada a devolverlo dentro de 5 años pagando una tasa de interés igual a 12% anual con interés compuesto de manera que se deberán desembolsar $100.000 \times (1+0{,}12)^5 = 176.234{,}17$ al finalizar el tercer año.

Calificación	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC	Default
AAA	90,7889%	8,2911%	0,7160%	0,1020%	0,1020%	0,0000%	0,0000%	0,0000%
AA	0,1030%	91,2199%	7,8511%	0,6200%	0,1030%	0,1030%	0,0000%	0,0000%
A	0,9240%	2,3610%	90,0406%	5,4410%	0,7190%	0,3080%	0,1034%	0,1030%
BBB	0,0000%	0,3180%	5,9380%	86,9470%	5,3020%	1,1660%	0,1170%	0,2120%
BB	0,0000%	0,1100%	0,6590%	7,6921%	80,5498%	8,7911%	0,9890%	1,2090%
B	0,0000%	0,1140%	0,2270%	0,4540%	6,4700%	82,7470%	4,0860%	5,9020%
CCC	0,2280%	0,0000%	0,2280%	1,2510%	2,2750%	12,8559%	60,6364%	22,5258%
Default	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	100,0000%

Tabla 18.2 Matriz de transición

Calificación	Mínimo	Máximo
AAA	60,00%	80,00%
AA	55,00%	68,00%
A	54,00%	66,00%
BBB	46,00%	52,00%
BB	35,00%	44,00%
B	30,00%	40,00%
CCC	28,00%	35,00%
Default	0,00%	0,00%

Tabla 18.3 Porcentaje del valor nominal a recuperar en caso de *default*

transición. Por ejemplo, la probabilidad que un bono calificado con AAA se mantenga en la misma calificación dentro de un año es 90,7889%. De la misma manera, un bono AAA no tiene chances de caer en *default* al cabo de un año. En cambio, un bono calificado con la letra C tiene una probabilidad de incumplimiento de pago igual a 22,5258%. A continuación se presenta un ejemplo de valuación de un bono con riesgo de *default*.

Supongamos un bono que tiene vencimiento dentro de 10 años y que paga un cupón anual igual a 10% de su valor nominal de $ 100. La amortización se realiza íntegramente al final y la calificación inicial asignada a este bono es BBB. En caso que el bono ingrese en *default*, se espera recuperar parte de su valor nominal, importe a desembolsar al cabo de dos años. El porcentaje a recuperar depende de la última calificación que tenía el bono al momento de declarar el incumplimiento de la obligación y es modelado con una variable aleatoria uniforme según lo indicado en la tabla 18.3. Para simplificar el análisis, se estima una tasa de descuento plana igual a 12% y se establece que el momento del *default* sólo puede ocurrir inmediatamente antes del pago del cupón.