

Aplicación de la Simulación Monte Carlo en el cálculo del riesgo usando Excel¹

*Carlos E. Azofeifa*²

Palabras clave

Simulación Monte Carlo, cálculo Excel.

Introducción

Hoy día, la simulación es ampliamente aceptada en el mundo de los negocios para predecir, explicar y ayudar a identificar soluciones óptimas. En particular, aplicaremos la simulación Monte Carlo a un proyecto de inversión con el fin de poder estimar el riesgo de un fracaso, usando para este propósito la hoja electrónica Excel.

¿Qué es la simulación?

Simulación es el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de manera que se obtenga una imitación de un proceso del sistema a través del tiempo. Por lo tanto, la simulación involucra la generación de una historia artificial del sistema y la observación de esta historia mediante la manipulación experimental; además,

nos ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema.

Consecuentemente resulta que la simulación es uno de los procesos cuantitativos más ampliamente utilizados en la toma de decisiones, pues sirve para aprender lo relacionado con un sistema real mediante la experimentación con el modelo que lo representa. Así, el objetivo consistirá en crear un entorno en el cual se pueda obtener información sobre posibles acciones alternativas a través de la experimentación usando la computadora. En administración, los modelos matemáticos se construyen y se utilizan para comprobar los resultados de decisiones antes de aplicarlas a la realidad.

Aplicaciones

Es muy importante tener claro el ámbito de aplicación de la simulación; entre las muchas aplicaciones financieras posibles en donde se ha aplicado con éxito podemos citar:

- 1 Este artículo fue financiado por el proyecto N.º 820-A2-115, inscrito en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.
- 2 Profesor Escuela de Matemática. Universidad de Costa Rica - Univesidad Nacional. Correo electrónico: (cazofeifa@uinteramericana.edu).

Introducción de productos nuevos

El objetivo central de esta simulación es determinar aquella probabilidad que tiene un producto nuevo de producir un beneficio. Se desarrolla un modelo que relaciona la utilidad con las distintas entradas probabilísticas como, por ejemplo, la demanda, el costo de las piezas o materia prima y el costo de la mano de obra, etc. La única entrada que se controla es si se introduce o no el producto en el mercado. Al generar una diversidad de posibles valores en función de las entradas probabilísticas, se calcula la utilidad resultante.

Políticas de inventario

El objetivo de esta simulación es poder escoger una política adecuada de inventarios que resulte en un buen servicio a los clientes y a un costo razonable. Por lo tanto, se desarrolla un modelo que involucra el costo y nivel de servicio con entradas probabilísticas, como la demanda del producto y el plazo de entrega de los proveedores, y con entradas controlables, como la cantidad que se debe pedir y el punto de pedido. Para cada juego de entradas controlables, se generarían diversos valores posibles para las entradas probabilísticas y se calcularía el costo y niveles de servicio resultantes.

Líneas de espera

Se quiere determinar los tiempos de espera en un cajero automático, por ejemplo en un banco. Se desarrolla un modelo que relaciona los tiempos de espera de los clientes con entradas probabilísticas (una distribución Poisson), como la llegada de los clientes y los tiempos de servicio (una distribución exponencial), y una entrada controlable, el número de cajeros automáticos instalados. Para cada valor de entrada controlable (en este caso el número de máquinas), se generaría una diversidad de

valores para las entradas probabilísticas y se calcularían los tiempos de espera de los clientes, así como su número esperado en la cola y el tiempo de servicio.

Finanzas

Hacer análisis de riesgo en procesos financieros mediante la imitación repetida de la evolución de las transacciones involucradas para generar un perfil de los posibles resultados:

- Aplicación al planeamiento de capacidad.
- Aplicaciones para determinar políticas de mantenimiento óptimo.
- Modelando intercambio de mercados.
- El uso de simulación en administración de proyectos.
- Simulando presupuestos en efectivo.
- Cubrimiento con futuros.
- Simulando precios de *stocks* y opciones.
- Opciones exóticas.
- Determinar políticas óptimas de mantenimiento.
- Estimando la distribución del tiempo de concluir un proyecto.
- Determinar la probabilidad de que una actividad sea crítica.
- Determinar la tasa de riesgo asociado con un portafolio de bonos.
- Cálculo del riesgo en un análisis financiero.
- Proyección de ventas.
- Análisis de la tasa de retorno.
- Análisis de distribución de estrategias.
- Análisis de mercadeo.

Los modelos de simulación que se van a considerar difieren de otros modelos en los siguientes aspectos:

- Los modelos de simulación no se han diseñado para encontrar la mejor solución o soluciones óptimas, como en la programación lineal o en análisis de decisiones, sino que evalúan diferentes alternativas y se toma una decisión con base en una comparación de los resultados. Es decir, se evalúa el desempeño de sistemas previamente especificados.
- Los modelos de simulación suelen enfocarse en operaciones detalladas del sistema, ya sean físicas o financieras. En el sistema se estudia la manera como funciona a través del tiempo y se incluyen los efectos de los resultados de un periodo sobre el siguiente.
- La simulación por computadora imita la operación de este sistema mediante el uso de distribuciones de probabilidad correspondientes para generar en forma aleatoria los diversos eventos que ocurren en el sistema. Sin embargo, en lugar de operar un sistema físico, la computadora solo registra las ocurrencias de los eventos simulados y el comportamiento resultante de este sistema simulado.
- Los modelos de simulación incluyen elementos aleatorios o probabilísticos; estos contienen ejemplos de sistemas de colas, de inventario y modelos de análisis de riesgos, a menudo llamados *Simulación Monte Carlo*.

Simulación Monte Carlo

La simulación Monte Carlo es básicamente un muestreo experimental cuyo propósito es estimar las distribuciones de las variables de salida

que depende de variables probabilísticas de entrada. Los investigadores acuñaron este término por su similaridad al muestreo aleatorio en los juegos de ruleta en los casinos de Monte Carlo.

Así, por ejemplo, el modelo de Monte Carlo puede simular los resultados que puede asumir el VAN de un proyecto. Pero lo más relevante es que la simulación permite experimentar para observar los resultados que va mostrando dicho VAN.

Uso de Excel en la simulación

Por otra parte, puesto que hoy en día los modelos de simulación pueden crearse y ejecutarse en una PC. El nivel de conocimientos de computación y matemática requeridos para diseñar y correr un simulador útil se ha reducido considerablemente. La capacidad de los modelos de simulación para tratar con la complejidad, manejar la variabilidad de las medidas de desempeño y reproducir el comportamiento a corto plazo permite que la simulación sea una herramienta poderosa.

Además, la potencia de las “PC” recientemente ha hecho posible que el administrador use hojas de cálculo para evaluar el riesgo de inversiones financieras, evaluación de proyectos, planes de retiro y otros tipos de decisiones de negocios. Lo anterior se debe a la flexibilidad y capacidad estadística de la hoja de cálculo, la cual la torna especial para el desarrollo de los modelos de simulación, particularmente en el uso de la simulación Monte Carlo. De hecho, es quizá la hoja electrónica la más elegante de todas las aplicaciones de *software*, pues ella proporciona al usuario un gran poder en la conducción de los análisis financieros.

Beneficios de la simulación

- Los modelos simulados son más fáciles de entender que muchos modelos analíticos.

- Se gana “experiencia” en forma barata simulando en el computador sin correr riesgos reales.
- Se obtienen resultados de manera rápida.
- Con los modelos de simulación es posible analizar sistemas muy complejos, donde los modelos analíticos no pueden llegar.

Análisis de riesgo

Análisis de riesgo es el proceso de predecir el resultado de una decisión ante una incertidumbre. El siguiente problema presenta una gran incertidumbre: *La introducción de un nuevo producto*. Primeramente, se hará un análisis de riesgo sin utilizar la simulación y posteriormente se presentará otro análisis, con la ayuda de la simulación.

Introducción de un producto nuevo

La compañía PcSA comercia equipo informático. El equipo de la compañía encargado del diseño de productos ha desarrollado un prototipo de una impresora portátil de alta calidad. Esta nueva impresora tiene un potencial para ganarse un porcentaje importante del mercado. Los análisis preliminares financieros y de mercadeo han llevado a establecer un precio de venta y un presupuesto para los costos administrativos y de publicidad para el primer año.

Precio de venta = 70.000 colones por unidad

Costos administrativos = 160 millones de colones

Costos de publicidad = 80 millones de colones

Sin embargo, el costo de mano de obra directa, el costo de componentes y la demanda del primer año de la impresora

no se conocen con exactitud y por lo tanto se consideran las entradas probabilísticas del modelo. Ahora bien, el comportamiento de estas entradas se debe describir mediante *distribuciones de probabilidad*.

De acuerdo con experiencias previas, se han hecho las siguientes mejores estimaciones de los valores anteriores, a saber:

15.000 = costo de mano de obra directa,

30.000 = costo de componentes,

20.000 = demanda del primer año.

Estos valores formarán el escenario básico para la empresa PcSA. Se requiere, además, un análisis del potencial de utilidades de la impresora durante su primer año. Para ello ponemos:

C_1 = costo de mano de obra por unidad.

C_2 = costo de componentes por unidad.

X = demanda del primer año

Por lo tanto, el modelo se puede escribir como:

$$\text{Utilidad} = (70.000 - C_1 - C_2)X - 240.000.000$$

Si sustituimos los mejores valores estimados, se tiene la siguiente proyección de las utilidades

$$\text{Utilidad} = (70.000 - 15.000 - 30.000)20.000 - 240.000.000 = 260.000.000 (*)$$

Observemos que este escenario es atrayente, pero qué pasaría si los estimados anteriores no ocurren tal y como se espera. Supongamos que la empresa cree que los costos de mano de obra pueden oscilar de 10.000 hasta 22.000 colones por unidad, el costo de componentes de 25.000 hasta 35.000, y la demanda del primer año puede resultar de 9.000 hasta 28.500 unidades.

En realidad, debemos evaluar dos escenarios más: *uno pesimista y otro optimista*.

Para el escenario pesimista tenemos la utilidad proyectada:

$$\text{Utilidad} = (70.000 - 22.000 - 35.000) \\ 9.000 - 240.000.000 = -123.000.000$$

Es decir, se tiene una pérdida proyectada de 123 millones de colones. En cambio, para el escenario optimista se proyecta la siguiente ganancia:

$$\text{Utilidad} = (70.000 - 10.000 - 25.000) \\ 28.500 - 240.000 = 757.500.000$$

Se puede concluir que, por el análisis anterior, las utilidades anteriores pueden estar en un rango desde una pérdida de 123 millones a una utilidad de 757.000.000, con un valor de escenario base de 260.000.000 dado por (*).

Se pueden analizar otros escenarios que PcSA desee considerar. *Sin embargo, la dificultad en este tipo de análisis es que no especifica cuál es la probabilidad de cada uno de los distintos valores de utilidad o de pérdida*. De hecho, no se tiene ninguna idea de la probabilidad de una pérdida.

Proceso de simulación

Lo que haremos ahora será similar a desarrollar muchos escenarios de “qué pasaría si”, generando de manera

aleatoria valores para las distintas entradas probabilísticas del problema, con la ventaja de que nos va a permitir tener un juicio sobre la probabilidad de los posibles valores de utilidad o de pérdida.

Ahora necesitamos generar valores para las entradas probabilísticas que sean representativas de lo que pudiéramos observar en la práctica. *Para generar estos valores, necesitamos saber cuál es la distribución de probabilidad de cada entrada probabilística como se indicó al principio*.

Supongamos que ciertos análisis realizados por PcSA han llevado a considerar las siguientes distribuciones de probabilidad:

Costo de mano de obra directa

Este costo va de 10.000 hasta 22.000 por unidad, quedando descrito por la tabla 1.

Costo de componentes

El costo de componentes va de 25.000 hasta 35.000 por unidad siguiendo una distribución uniforme. Sabemos que este costo depende en general de la economía, de la demanda y de políticas de precios de los proveedores.

Demanda del primer año

Esta demanda queda descrita por la distribución de probabilidad normal, donde el valor medio esperado es de

Tabla 1
Distribución de probabilidad para costo de mano de obra directa

Costo de mano de obra directa por unidad	Probabilidad
10.000	0,1
13.000	0,3
16.000	0,3
19.000	0,2
22.000	0,1

14.500 unidades y la desviación estándar es de 4.000 unidades.

Ahora para simular el problema de PcSA se deben generar valores para estas tres entradas probabilísticas y calcular la utilidad resultante. Después se debe generar otro juego de valores para las mismas entradas probabilísticas, calcular un segundo valor para la utilidad y así sucesivamente. Se continúa el proceso hasta que estemos seguros de que se han realizado suficientes ensayos para poder tener una buena imagen de la distribución de los valores que toma de utilidad.

Este proceso de generar las entradas probabilísticas y de calcular el valor del resultado se conoce como simulación. Observemos que el precio de venta, el costo administrativo y el costo de publicidad, se conservan fijos en toda la corrida de simulación.

Para la simulación se pueden desarrollar mediciones de interés, por ejemplo, en particular estamos interesados en calcular:

- a) la utilidad promedio y
- b) la probabilidad de una pérdida

Como las mediciones de estos resultados tienen que ser significativas, los valores de las entradas probabilísticas tienen que ser *representativos* de lo que es probable que ocurra al introducir la nueva impresora en el mercado. Veamos la

capacidad de cómo generar estos valores representativos para las distintas entradas probabilísticas.

Números aleatorios y la generación de valores de entradas probabilísticas

Los números aleatorios generados por computadora se eligen al azar en el intervalo de 0 a 1, pero sin incluir a 1. Como cada número generado por computadora tiene la misma probabilidad, se dice que están distribuidos de manera uniforme en el intervalo [0,1].

Colocando =RAND() o =ALEATORIO() en una celda de Excel, se producirá un número aleatorio entre 0 y 1.

Generación para la distribución de probabilidad discreta

Comenzaremos por mostrar cómo generar un valor para el costo de mano de obra directa por unidad. Se asigna un intervalo de números aleatorios a cada valor posible del costo de mano de obra directa, de forma que la probabilidad de generar un número aleatorio en el intervalo sea igual a la probabilidad del costo de mano de obra directa correspondiente. En la tabla de costo de mano de obra se muestra la manera de hacerlo.

Para lograr generar números aleatorios en Excel siguiendo una distribución discreta, se va a Análisis de Datos en Herramientas

Intervalos de números aleatorios para la generación de valores del costo directo de mano de obra por unidad para la impresora PcSA		
Costo de mano de obra directa por unidad	Intervalo de los números aleatorios	Probabilidad
10.000	[0,0,0,1[0,1
13.000	[0,1,0,4[0,3
16.000	[0,4,0,7[0,3
19.000	[0,7,0,9[0,2
22.000	[0,9,1,0[0,1

y se escoge generación de números aleatorios, luego en el cuadro de diálogo se marca en la casilla de número de variables: 1 ó 5, dependiendo el número de columnas escogidas donde se colocarán los números, en la casilla de Número de números aleatorios: se pone el número de ensayos, en este caso 70, donde dice distribución, se escoge *discreta* porque se tiene la distribución ya dada por la tabla anterior, la cual se debe especificar en la celda que dice: valor y probabilidad del rango y finalmente se escoge una celda para el rango de salida.

Otra posibilidad es usar la función BUSCARV, la cual hace la misma función anterior sin tener que usar los menús anteriores.

Lo anterior se realiza pues como los números aleatorios tienen una misma probabilidad, así los analistas pueden por tanto asignar rangos de números aleatorios a valores correspondientes de entradas probabilísticas, de manera que la probabilidad de cualquier valor de entrada al modelo de simulación sea idéntica a la probabilidad de su aparición en el sistema real.

Por tanto, ahora la probabilidad de generar un número aleatorio en cualquier intervalo es igual a la probabilidad de obtener el valor correspondiente del costo de mano de obra directa, por lo que, para generar un valor aleatorio para el costo de mano de obra directa, generaremos un número aleatorio entre 0 y 1. Si el número aleatorio es mayor a 0,0, pero inferior a 0,3, se define el costo de mano de obra directa igual a 10.000. Si el número aleatorio es mayor a 0,3, pero inferior a 0,6, estableceremos el costo de mano de obra directa igual a 16.000 y así sucesivamente.

Generación de valores para el costo de componentes

Como su distribución de probabilidad es distinta a la del costo de mano de

obra directa, procederemos de manera diferente en la generación de los valores. Como su distribución es uniforme (*esto es válido para cualquier distribución de probabilidad uniforme*), se utiliza la siguiente relación entre el número aleatorio y el valor asociado del costo de componentes, la cual se obtiene a partir del método de la transformada inversa:

Costo de componentes

$$= a + r(b-a), \text{ en donde}$$

r= número aleatorio entre 0 y 1 con distribución uniforme

a= valor más pequeño para el costo de componentes del costo de componentes

Para nuestro caso, $a = 25.000$ y $b=35.000$; por tanto el costo de componentes está dado por la ecuación:

$$\text{Costo de componentes} = 25.000 + r(35.000-25.000) = 25.000 + 10.000r.$$

Poniéndolo en el lenguaje de Excel, se tendría la fórmula:

$$\text{Costo de componentes} = 25.000 + 10.000 * \text{aleatorio}()$$

Supongamos ahora que se tiene el número aleatorio 0,2680, en este caso el valor del costo de componentes que se genera es: $25.000 + 10.000 * 0,2680 = 27.680$.

Si en el siguiente ensayo se genera un número aleatorio igual a 0,5871; entonces, el costo de componentes sería 30.871 y así sucesivamente.

Generación de valores para la demanda del primer año

Como la demanda tiene una distribución normal con media $\mu=14.500$ y desviación estándar $\sigma=4.000$. El procedimiento para generar números aleatorios a partir de una distribución normal no se explicará debido a su complejidad matemática. Sin embargo, los paquetes de simulación por

computadora y principalmente las hojas de cálculo poseen una función que genera valores al azar a partir de una distribución de probabilidad normal, lo único que se necesita es introducir el valor medio y la desviación estándar.

En el caso de Excel, colocamos la siguiente fórmula en una celda para obtener el valor de una entrada probabilística que está distribuida normalmente:

$$=NORMINV(RAND(), \mu=\text{media}, \sigma=\text{desviación estándar})$$

Para nuestro caso en particular, tendríamos:

$$=NORMINV(RAND(), \mu=14.500, \sigma=4.000)$$

o

$$=DISTR.NORM.INV(ALEATORIO(), \mu=14.500, \sigma=4000)$$

NOTA: Se puede observar que números aleatorios inferiores a 0,5 generan valores de la demanda por debajo de la media y números aleatorios superiores a 0,5 generan valores de la demanda por encima de la media. Así, el número aleatorio 0,5000 debe generar una demanda de 14.500.

Ejecución del modelo de simulación

El paso por seguir es realizar los cálculos de las respectivas utilidades: Cada uno de los ensayos en la

simulación involucra generar valores al azar para las entradas probabilísticas (costo de mano de obra directa, costo de componentes y demanda del primer año) y después calcular la utilidad. La corrida de simulación queda concluida cuando se haya llevado a cabo un número satisfactorio de ensayos.

Contenidos de las celdas de los costos, la demanda y la utilidad:

- Costo de mano de obra: =BUSCARV(ALEATORIO(); \$A\$4: \$C\$8, 3, verdadero)
- Costo de componentes: = 25.000 + 10.000*ALEATORIO()
- Distribución de la demanda: =DISTR.NORM.INV (ALEATORIO (), 14.500, 4.000)
- Utilidad: = (70.000 -B12 -C12)*D12-200.000.000 (En referencia a la fila 12 de la siguiente tabla). Las fórmulas anteriores se introducen en la fila correspondiente al primer ensayo, posteriormente se realiza un “copy” en cada columna hasta el número deseado de ensayos, en este caso 70.

Las funciones BUSCARV y DISTR.NORM.INV se localizan en las funciones estadísticas de f_x . La siguiente tabla nos muestra cómo proceder para nuestro problema con una simulación de 70 ensayos. Usted puede realizar 2000 ensayos para obtener un cuadro más realista. Recuerde que de muestra a

Modelo de PcSA			
Número aleatorio inferior	Número aleatorio superior	Costo de mano de obra directa	Probabilidad
0	0,1	10.000	0,1
0,1	0,3	13.000	0,2
0,3	0,7	16.000	0,4
0,7	0,9	19.000	0,2
0,9	1	22.000	0,1

Continuación

Ensayo	Costo de mano obra directa/ unidad	Costo de componentes/unidad	Unidades vendidas	Utilidad
1	16.000	29355.66338	19822.2539	288506297
2	16.000	31238.93816	14223.9684	123752623
3	13.000	30521.30359	16410.9302	234540039
4	13.000	31464.37418	19066.7002	286880123
5	22.000	34637.69605	13410.0161	-20811289
6	10.000	26389.32269	16206.162	344700083
7	13.000	30807.94742	11083.1375	90290121.3
8	19.000	34673.98972	7335.40092	-80242169
9	10.000	34972.60638	12494.5414	112705807
10	16.000	31411.92372	13083.4256	95529415.9
11	16.000	31415.19046	15204.2536	143385171
12	16.000	34832.50408	16755.5469	121161876
13	22.000	28245.33882	14083.9971	78224591.2
14	19.000	34702.47796	5811.92453	-105280032
15	16.000	33125.45709	11448.045	38972706.8
16	22.000	31886.55688	14488.3266	33456827.2
17	22.000	27784.91957	12178.5693	46190758.8
18	16.000	28063.85539	11461.0872	97256414
19	13.000	27510.79862	8495.26132	50518471.8
20	16.000	33203.50145	19007.4376	195288148
21	19.000	29546.86639	16469.92	153331395
22	16.000	25127.22739	10544.2074	104440502
23	16.000	32733.10188	19420.7119	213018302
24	13.000	31244.55395	23497.9585	405200403
25	22.000	34967.94358	16935.7814	20708059
26	13.000	34689.48682	11881.2555	65076908
27	10.000	31788.57949	12111.8306	141691947
28	16.000	28368.68726	15503.9093	197385549
29	10.000	33170.26729	11555.5882	110033343
30	19.000	27318.2318	20957.3942	296308151
31	13.000	29788.56984	8467.64906	30416841.1
32	13.000	25996.17592	15060.3079	266927135
33	10.000	32460.51865	10939.3828	101264929
34	19.000	32056.43731	12832.7689	43098361.8
35	22.000	32309.0053	13335.0282	9239857.37
36	16.000	30498.27707	8574.16908	1507746.05
37	10.000	27397.2397	14906.1667	285982180
38	16.000	33716.34385	14827.3999	100753881
39	10.000	25458.72063	16841.6032	381730523
40	16.000	32859.2385	17448.218	168868616
41	16.000	25346.80392	17974.197	315018191
42	13.000	27087.7487	15403.2647	260746323
43	16.000	25021.66451	14380.0877	216711005

Continúa en la siguiente página

Continuación

Ensayo	Costo de mano obra directa / unidad	Costo de componentes /unidad	Unidades vendidas	Utilidad
44	16.000	27748.71144	16841.3077	242106027
45	19.000	30430.09933	9633.71222	-1835496.6
46	16.000	25208.57649	8081.93236	32690337.3
47	16.000	29911.36913	16226.0118	190862408
48	13.000	28146.44495	12794.4701	169165946
49	10.000	29091.85345	18170.6751	361621890
50	10.000	28614.78051	12254.4394	184608270
51	16.000	29481.24659	11720.9298	87382587.5
52	13.000	31134.973	13154.6482	140245330
53	16.000	28622.74971	9674.03012	45500283.7
54	19.000	34769.09366	13877.992	25252388.7
55	13.000	33999.63118	17186.711	195300692
56	13.000	26779.29804	16149.064	288036049
57	16.000	28619.57849	27391.8327	495216261
58	13.000	34782.83894	20634.9965	258451041
59	16.000	34520.19514	24796.3531	283028120
60	19.000	33587.62268	9710.14615	-30923271
61	13.000	26550.64039	9263.78434	82076300.8
62	16.000	32385.87332	19150.6648	213924894
63	16.000	28101.2649	21675.3675	361364601
64	13.000	30368.76627	19134.1938	309567188
65	10.000	25839.79359	22182.3562	557753867
66	16.000	26972.38857	12334.6841	133377049
67	13.000	34639.72661	13349.6893	98502702.2
68	19.000	28202.33335	11450.4552	61043659.9
69	19.000	29581.57927	17593.2279	176819156
70	16.000	33301.68694	12380.177	56248780

muestra los resultados difieren, precisamente por el error de muestreo.

Podemos observar que para esta muestra de 70 utilidades, tenemos que *la probabilidad de pérdida es de un 7,1%*. La repetición del proceso de simulación con distintos valores de entradas probabilísticas es parte esencial de cualquier simulación. A través de ensayos repetidos, la administración empezará a comprender lo que pudiera ocurrir cuando el producto se introduce en el mercado.

Vemos que en el caso de la simulación los valores generados para las entradas

probabilísticas aparecen con las mismas posibilidades que se esperaría ocurriera en la práctica. De hecho, un ensayo no aporta una comprensión completa de los niveles posibles de utilidad o de pérdida, por tanto *se recomienda correr la simulación para un número relativamente grande de ensayos como una forma de obtener resultados útiles.*

Interpretación de los resultados de la simulación

Los resultados obtenidos nos van a ayudar a comprender mejor el potencial de utilidad o de pérdida. Por tanto, se recomienda realizar un histograma de la

utilidad simulada y obtener además las correspondientes estadísticas descriptivas para el número de ensayos pedidos en la simulación, en estas últimas se puede incluir el número de pérdidas (para calcular la probabilidad de una pérdida), la utilidad mínima y la utilidad máxima. Con estos datos se toman las decisiones adecuadas. Recordemos que *los estudios de simulación permiten una estimación objetiva de la probabilidad de una pérdida, lo que es un aspecto de importancia en el análisis de riesgo.*

Es claro que con la simulación se obtiene mucha mayor información. Así, por ejemplo, aunque los escenarios pesimista y optimista son posibles, puede suceder que en una corrida de 1 000 simulaciones, estos sean poco probables. Por otra parte, si por ejemplo se tiene una probabilidad de pérdida de 0,071, la cual puede ser aceptable para la administración, dado que se tiene una probabilidad de que la utilidad sea beneficiosa. De lo contrario, PcSA puede realizar nuevas investigaciones de mercado antes de decidir la introducción del producto. En cualquier caso, los resultados de la simulación deben ser una ayuda para llegar a una decisión apropiada.

Para evaluar el riesgo correspondiente del proyecto, se usó las estadísticas descriptivas, además se puede utilizar la tecla F9 para realizar otra simulación completa de PcSA. En este caso, la hoja de cálculo volverá a calcularse y se incluirá un nuevo conjunto de resultados de simulación. Cualquier resumen, medidas o funciones de los datos que se hubieran incorporado anteriormente a la hoja de cálculo se actualizarán de manera automática. Para realizar la estadística descriptiva y su histograma, primero se debe congelar o fijar la columna de las utilidades; esto se consigue marcando las 70 utilidades obtenidas y luego proceder así: copiar / copiar / pegado especial / pegar / valores.

A continuación presentamos la estadística descriptiva de la simulación anterior; esto se consigue en Análisis de datos que se encuentra en Herramientas de Excel. Observemos que la utilidad menor es de -105 280 031,8 y la utilidad superior es de 557 753 867,4. Además, la utilidad promedio es de 158 312 474,2, con una desviación estándar bastante grande de 132 220 387,9.

También, como destacamos antes, se debe realizar un histograma de los resultados de la simulación; debajo del

Columna 1	
Media	158312474,2
Error típico	15803359,03
Mediana	136811189,4
Moda	#N/A
Desviación estándar	132220387,9
Varianza de la muestra	1,74822E+16
Curtosis	0,349189721
Coefficiente de asimetría	0.626528563
Rango	663033899,3
Mínimo	-105280031,8
Máximo	557753867,4
Suma	11081873194
Cuenta	70
Mayor (1)	557753867,4
Menor(1)	-105280031,8

Clase	Frecuencia	% acumulado
-105280032	1	1,43%
-22400794	2	4,29%
60478443	15	25,71%
143357680	19	52,86%
226236918	13	71,43%
309116155	11	87,14%
391995393	6	95,71%
74874630	1	97,14%
y mayor...	2	100,00%

cuadro de la estadística descriptiva, aparece el cuadro de frecuencia realizado por Excel y que proporciona el siguiente gráfico (Herramientas / Análisis de datos / Histograma):

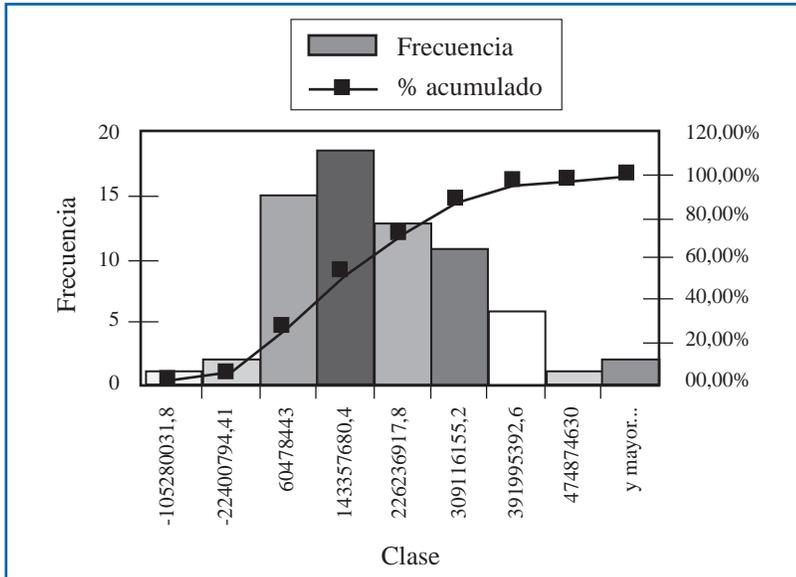


Figura 1

Histograma.

Los intervalos de confianza también proporcionan información valiosa, en este caso Excel nos dice que el nivel de confianza es:

Columna 1
Nivel de confianza (95,0%) 31526829

Por tanto, el intervalo de confianza para esta simulación será [126.785.645,2-189.839.303,2] Es decir, podemos tener un 95% de confianza en que la verdadera utilidad esperada está en algún punto entre 126.785.645,2 y 189.839.303,2, siendo nuestra mejor aproximación 158.312.474,2.

Si se desea más precisión, se deben realizar más de 70 ensayos para dar una mejor estimación del rendimiento esperado, pero incluso con un mayor número de ensayos puede haber alguna diferencia entre el promedio simulado y el rendimiento esperado real.

Observamos que con la simulación se obtiene más información que con los escenarios; qué pasaría si incluso escenarios pesimistas y optimistas podrían tener pocas probabilidades de que ocurrieran en la realidad, lo cual nos da mucha información para un buen análisis de riesgo; se puede además observar cuáles son los valores de utilidad más probables.

Si queremos realizar un número grande de ensayos en Excel, digamos 2000 ensayos, esta tarea puede convertirse en una actividad tediosa y aburrida. Para compensar lo anterior y evitar llenar hojas de trabajo con muchos datos innecesarios, hay disponibles en el mercado dos tipos de *software* orientados a Excel que minimizan estos trabajos: ®CRYSTALL BALL y ®CRYS, los cuales aplicaré en posteriores trabajos.

Finalmente, en aquellos casos en que se tenga un modelo analítico para describir el problema, es mejor usar este que la simulación. Sin embargo, en los problemas donde se presenta riesgo e incertidumbre, es recomendable el uso de la simulación.

Bibliografía

- Anderson, Sweeney, Williams. *Métodos cuantitativos para los negocios*. Séptima edición. Editorial Thomson. México. 1999.
- Azarang, M-Gracia, E. *Simulación y análisis de modelos estocásticos*. Editorial McGraw-Hill. México. 1996.
- Bierman, Bonini, Hausman. *Análisis cuantitativo para la toma de decisiones*. Editorial McGraw-Hill. México. 2000.

- Eppen, F/ Gould, G/ Schmidt, C.P/ Moore, J/ Weatherford, L. *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. Prentice Hall. México. 2000.
- Evans J-Olson D. *Introduction to Simulation and Risk Analysis*. Prentice Hall. New Jersey. 2002.
- Kinkoph S. *Microsoft Excel 2000*. Prentice Hall. 1999.
- Mathur, K/ Solow, D. *Investigación de operaciones. El arte de la toma de decisiones*. Prentice Hall. México. 1996.
- Law,A-Kelton, D. *Simulation Modelling & Analysis*. McGraw-Hill, Inc. New York. 1991.
- López Paulo. *Probabilidad y Estadística. Conceptos, modelos, aplicaciones con Excel*. Prentice Hall. México. 2000.
- Wayne Winston. *Financial Models Using Simulation and Optimization II*. PAL N. ° 081. 1998.
- Wayne Winston. *Simulation Modeling using @RISK* . Duxbury. PAL. USA. 2001.