

# programa de simulación Monte Carlo para evaluación de métodos agropecuarios

ROGER CASTELLON \*

## RESUMEN

*Se describe un programa de computadora escrito en Fortran mediante el cual se simula la distribución de probabilidad de coeficientes económico-financieros, así como la tasa interna de retorno, utilizando la técnica de Montecarlo. Se identifica su importancia y se ejemplifica su interpretación y aplicación al campo agropecuario.*

## INTRODUCCION

La preparación y evaluación de proyectos agropecuarios constituye hoy en día una de las principales herramientas con que cuentan técnicos y productores para garantizar que las inversiones que van a realizar en determinadas actividades sean no solo viables desde el punto de vista técnico sino también rentables económicamente y convenientes socialmente.

Los proyectos, según Gittinger (1978) son instrumentos claves de desarrollo y constituyen el medio más adecuado para evitar las inversiones ineficaces y el derroche de recursos. Su preparación normalmente exige equipos humanos interdisciplinarios que interactúen analizando y definiendo aspectos de diagnóstico, mercadeo y comercialización, tamaño, localización, planes de producción y presupuestos. En su fase de evaluación requieren el cálculo e interpretación de una serie de coeficientes económico-financieros, que permiten inferir sobre la conveniencia de éstos como inversión.

Con frecuencia se supone que las variables que intervienen en un proyecto se conocen con certeza y con base en ello se calcula el flujo de dinero en cada año. Esto permite el cálculo director de indi-

cadore tales como la tasa interna de retorno (tir), la tasa externa de retorno (ter), el valor actual neto (VAN), la rentabilidad de la inversión (ri) y otros. Sin embargo, cuando las variables que se deben considerar pueden tener más de un valor, es posible emplear otro enfoque mediante simulación Monte Carlo. Este enfoque para la evaluación de proyectos se aplica a aquellos casos en los que existen varias opciones de inversión o varias posibilidades de utilizar uno u otro equipo, maquinaria, variedades de cultivo, combinaciones de cultivos, sistemas de alimentación, diferentes posibilidades de precios e ingresos, vida útil del proyecto, gastos u otro factor.

Resulta imposible evaluar manualmente estos casos, dada la gran cantidad de posibles combinaciones de diferentes situaciones y la cantidad de recursos que se requieren, tanto humanos y financieros, como de tiempo.

Por lo anterior se recomienda la simulación Monte Carlo que, haciendo uso del computador, soluciona en una forma ágil y eficaz el problema anteriormente planteado.

La simulación es una técnica muy usada en las empresas industriales y en Costa Rica su aplicación al campo agropecuario apenas se inicia. Según Shamblin (1973), ésta constituye un instrumento valioso para obtener la respuesta de problemas particulares en que el sistema es demasiado complicado para describirlo o que el modelo, una vez deducido, no permite una solución mediante la aplicación del análisis matemático. Es decir, la técnica de simulación consiste en plantear los problemas sobre una base experimental y "simular" que los sucesos objeto de estudio ocurren un cierto número de veces, suficientes como para permitir valorar su comportamiento. Según Escudero (1973), de esta forma se puede llegar a conocer un determinado fenómeno, e incluso a determinar la combinación o solución óptima.

\* Funcionario del Centro de Gestión Agropecuaria. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

La simulación Monte Carlo, por su parte, es una técnica de la investigación de operaciones, referencia a un caso específico de simulación, y consiste (Chacón 1972) en la sustitución del estudio de un proceso físico o matemático, por el de un modelo estocástico artificial; es decir, por este método se pueden tratar problemas que son determinísticos por medio de muestras aleatorias o pseudoaleatorias.

**MATERIALES Y METODOS**

El autor ha elaborado un programa de computadora escrito en lenguaje FORTRAN (Watfiv específicamente) para utilizar la simulación Monte Carlo en la solución del problema de la evaluación de proyectos probabilísticos.

El programa tiene como entrada de datos las distribuciones de probabilidad de las variables indispensables para el montaje de los flujos de fondos del proyecto que se va simular. Realiza varias corridas en cada una de la cuales genera números pseudoaleatorios, para cada una de las variables consideradas, formula el cuadro correspondiente para el flujo de caja específico y calcula uno o más indicadores económico—financieros.

Las variables que considera el programa son: la inversión inicial, los costos de operación, los ingresos brutos, la tasa de impuestos, la vida útil del proyecto y su valor de salvamento estimado mediante un modelo de depreciación lineal.

La distribución de probabilidad de estas variables se puede obtener a partir de datos históricos o a partir de datos estimados. Si se emplean datos históricos evidentemente se supone que los datos del pasado describen apropiadamente el futuro o son útiles para predecirlo. Si se cree que esta suposición no es correcta, es necesario atenerse a datos estimados, los cuales pueden ser más o menos significativos según la técnica utilizada (juicios estimados, mínimos cuadrados, encuestas, promedios móviles, etc.).

Es importante aclarar que aunque se conoce la probabilidad para cada variable y por consiguiente la frecuencia de cada una de ellas, no se conoce el orden de ocurrencia, pues se supone aleatorio y es el que se simula. Igualmente, es importante considerar que la distribución de probabilidad de las va-

riables puede responder a distribuciones empíricas o a distribuciones teóricas como la de Poisson, la distribución normal, la exponencia u otra.

El número de simulaciones que hay que realizar por el computador depende de las características estadísticas de la muestra utilizada. Este tamaño o número de observaciones, dado que se trabaja con muestreo aleatorio, puede estar definido por:

$$n = \frac{\emptyset^2 (Z_{\alpha/2})^2}{d^2}$$

donde

- n = tamaño de la muestra
- $\emptyset$  = desviación típica conocida de la población
- $Z_{\alpha/2}$  = desviación normal correspondiente a un nivel de confiabilidad  $1 - \alpha$ , en el sentido de que la media verdadera puede estar entre  $\alpha/2$  y  $1 - \alpha/2$ .
- d = diferencia entre la media de la muestra y la media verdadera.

Dado que la desviación típica  $\emptyset$  generalmente no se conoce, ésta se puede estimar a partir de la desviación típica de la muestra, dada por:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

La generación de números aleatorios, se hace mediante un método congruencial multiplicativo, que garantiza que éstos tienden a ser menos pseudoaleatorios y más aleatorios puros.

Para el cálculo de indicadores se toma como ejemplo la tasa interna de retorno, que se define como la tasa de interés,  $i$ , para la cual es correcta la expresión:

$$0 = \sum_{r=0}^n X_r$$

donde  $n$  es la vida estimada de la inversión y  $X$  es el flujo de dinero en el año  $r$ . Además  $X_r$  se entien-

$$X_r = (I - C) - (I - C - D) t - P;$$

donde

- I = ingreso bruto en el año r.
- C = gastos en el año r.
- D = depreciación en el año r.
- t = tasa efectiva de impuesto
- P = capital desembolsado en el año r (inversión).

El programa calcula la tasa interna de retorno mediante el ajuste de una recta por mínimos cuadrados y su igualación posterior a cero.

### Resultados y discusión

En los cuadros No. 1 y 2 se presenta un ejemplo de la información tabulada que se requiere para alimentar el programa. Puede notarse que dichos cuadros hacen referencia a la distribución, en este caso, de las variables costo de inversión y valor de salvamento del proyecto. Las frecuencias relativas de ocurrencia a que hacen referencia dichos cuadros se interpretan como probabilidades de ocurrencia y responden a distribuciones empíricas de probabilidad.

CUADRO Nº 1

CLASE	COSTO DE INVERSION ¢	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA REL. ACUM.
1	800000,0	0,20	0,20
2	1000000,0	0,50	0,70
3	1200000,0	0,30	1,00

CUADRO No. 2

CLASE	VALOR DE SALVAMENTO ¢	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA REL. ACUM.
1	80000,0	0,25	0,25
2	100000,0	0,50	0,75
3	1200000,0	0,25	1,00

En el cuadro No. 3 se presenta un ejemplo de la salida del programa en cada una de las corridas realizadas. Se indica en ella la simulación del modelo de flujo de dinero, describiendo el número de años de vida útil del proyecto, el monto de la inversión, la depreciación y el resto de variables,

cada una con el respectivo número aleatorio generado. En la última columna a mano derecha del mismo cuadro, se indica el flujo de dinero para cada año, dato que se utiliza para el cálculo de la tasa interna de retorno que aparece en la parte inferior del cuadro.

La interpretación individual de cada cuadro se puede hacer en función del valor de la tir, que representa la rentabilidad media del dinero utilizado en el proyecto durante toda su vida. Este criterio sirve como elemento para establecer rentabilidad del capital invertido en el proyecto, al compararse con la tasa de interés o el costo de oportunidad del capital imperante para inversiones optativas, siendo la regla de decisión de aceptación o recomendación del proyecto, cuando la tir es mayor que una tasa de descuento seleccionada.

Sin embargo, el objetivo fundamental del programa no es la evaluación individual de cada tir generada, sino la obtención de su distribución de probabilidad dado un número adecuado de simulaciones. Es decir, una vez que el programa ha simulado varias veces el flujo de fondos y ha calculado las tir correspondientes, se puede obtener para ésta una distribución como la indicada en la figura No.1.

Lo anterior permite calcular la media y la desviación típica de la tasa interna de retorno y fundamentalmente, permite hacer afirmaciones probabilísticas con base en su distribución. Para el proyecto en cuestión y con base en la figura No.1, pueden formularse enunciados tales como:

- la probabilidad de que el valor de la tasa interna de retorno del proyecto sea 20<sup>o</sup>/o es de 0,30;
- la probabilidad de que el valor de la tir sea menor de 20<sup>o</sup>/o es 0,50;
- el valor más probable que se obtiene para la tir del proyecto es 30<sup>o</sup>/o.

Estos enunciados probabilísticos constituyen una ayuda fundamental en la toma de decisiones sobre la puesta en marcha del proyecto en cuestión.

CUADRO No. 3. Simulación del flujo de dinero

AÑO	INVERSION	DEPRECIACION	N. ALEATORIO PARA I	INGRESO BRUTO I	N. ALEATORIO PARA C	GASTOS C	N. ALEATORIO PARA T	TASA IMPUESTO T	INGRESO SUJETO A IMPUESTO	IMPUESTO	FLUJO DE DINERO
0	1200000,0										
1		110000,0	0,0201	700000,0	0,7333	200000,0	0,9191	54,00	390000,0	210600	-1200000,0
2		110000,0	0,6145	800000,0	0,9147	150000,0	0,4581	52,00	540000,0	280800	289400,0
3		110000,0	0,0160	700000,0	0,4732	150000,0	0,1953	50,00	440000,0	220000	369200,0
4		110000,0	0,5870	800000,0	0,2197	150000,0	0,8982	54,00	540000,0	291600	330000,0
5		110000,0	0,1330	700000,0	0,6182	200000,0	0,5944	52,00	390000,0	202800	358400,0
6		110000,0	0,3701	750000,0	0,0706	100000,0	0,5925	52,00	540000,0	280800	297200,0
7		110000,0	0,5809	800000,0	0,6824	200000,0	0,1775	50,00	490000,0	245000	369200,0
8		110000,0	0,2935	750000,0	0,1410	100000,0	0,0122	50,00	540000,0	270000	355000,0
9		110000,0	0,1580	750000,0	0,4422	150000,0	0,5754	52,00	490000,0	254800	380000,0
10		110000,0	0,9720	850000,0	0,8462	200000,0	0,3254	52,00	540000,0	280800	469200,0

LA TASA INTERNA DE RETORNO ES 0,3174

LITERATURA CONSULTADA

1. Chacón, E. **Investigación operativa: método de Monte Carlo**. Barcelona Deusto, 1972.
2. Escudero, Laureano. **La simulación en la empresa**. Barcelona: Deusto, 1973.
3. Gerez, Víctor y Grijalva, Manuel. **Enfoque de sistemas**. México: Limusa, 1976.
4. Gittinger, Price. **Análisis económico de proyectos**. Madrid: Tecnos, 1974.
5. Shamblin, James. **Investigación de operaciones**. México: Mc Graw-Hill, 1975.
6. Ya, Lun-Chow. **Análisis estadístico**. México: Interamericana, 1974.