

***“Determinación del costo de provisión de mezclas asfálticas por análisis de probabilidad de beneficios ante índices de inflación variables”***

*Gestión de Redes Viales*

*José Julián Rivera, Luciano Germán Brizuela, Gustavo Alejandro Das Neves*

*LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional Fac. Reg.  
La Plata, Argentina. [lemac@frlp.utn.edu.ar](mailto:lemac@frlp.utn.edu.ar)*

## **RESUMEN**

Cuando una economía fluctúa en forma notoria, con índices de inflación que varían mes a mes, se genera un grado de incertidumbre en la cotización de la provisión de la mezcla asfáltica en caliente, en cuanto a cuál sería el beneficio esperable para la empresa proveedora, aspecto éste que se transforma en un componente adicional al generado por la variación de rendimientos.

La causa fundamental de esto es la existencia de un plazo en muchos casos desde la cotización hasta la provisión y el correspondiente pago.

En estos casos, el considerar una tasa de inflación mensual esperable no resuelve el problema, ya que ésta se refleja en los distintos insumos de manera heterogénea.

Si, en cambio, resulta más conveniente la simulación de esta situación, posibilitándose la obtención de la distribución probabilística del Beneficio esperable, en función de la inclusión de distribuciones probabilísticas para el incremento de los costos de los insumos, lo cual puede lograrse por ejemplo con el método de Monte Carlo.

Mediante esta distribución luego pueden establecerse los intervalos de confianza esperables para distintos umbrales de Beneficio, disminuyendo el grado de incertidumbre expuesto.

Sin embargo, el empleo de este método no resulta de uso habitual en la ingeniería vial, pues se lo considera más relacionado al área de las ciencias económicas, no obstante resulta una solución muy útil cuando se la emplea con el fin planteado o en situaciones análogas en otros rubros a ser cotizados.

El presente trabajo aborda esta situación, buscando acercar a la ingeniería vial una visión particular del empleo de la simulación de Monte Carlo, llevando a la generación de una hoja de cálculo sometida a simulación en un ejemplo de aplicación y procediéndose luego a un análisis en cuanto a sus resultados.

## **1- INTRODUCCIÓN**

Al cotizar obras viales en economías fluctuantes, se registra un grado de incertidumbre cuando se establece el precio de cada ítem, entre los cuales puede incluirse la provisión de mezcla asfáltica en caliente.

Este aspecto ha sido manifestado con preocupación por personal técnico de las diferentes empresas proveedoras con las cuales los autores se encuentran en contacto en su actividad rutinaria. En conversaciones mantenidas con estos profesionales se pudo llegar a un consenso en cuanto a que una herramienta que podría resultar útil en tal sentido sería la de superar el cálculo del Beneficio estimativo de manera biunívoca por la estimación de la distribución probabilística que diversos niveles de este Beneficio, a diversos plazos entre el presupuesto y la materialización de los pagos.

Buscando encontrar una forma de trabajo por la cual se arribe a resultados de este tipo, mediante averiguaciones en diversas fuentes, los autores del trabajo acceden a la utilización del método de simulación Monte Carlo, instrumentándose un trabajo de investigación para su abordaje con el fin planteado.

Esta publicación, desarrollada a partir del proyecto I+D denominado "Análisis técnicos y económicos en sistemas de gestión de plantas asfálticas" (Código 25/EI-01 del Programa de Incentivos del Ministerio de

Educación de la Nación), llevado adelante por el LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata (Argentina), aborda entonces el empleo del método de simulación de Monte Carlo para el cálculo de las distribuciones probabilísticas de la variable Beneficio en la provisión de mezcla asfáltica en caliente en economías fluctuantes y ante diferentes plazos entre el presupuesto y el pago por la mezcla provista.

## **2- METODOLOGIA**

El método de simulación de Monte Carlo es un análisis que emplea conceptos estadísticos de muestreo aleatorio combinados con la capacidad de las computadoras de generar números pseudo-aleatorios y automatizar cálculos [1]. Esta técnica tiene su origen a finales de la década del 40, cuando Stan Ulam y John Von Neumann en el laboratorio de Los Alamos investigaron el movimiento aleatorio de los neutrones. Su uso posterior ha implicado una infinidad de aplicaciones para la estimación de soluciones a problemas complejos, en forma alternativa a los modelos matemáticos exactos. Es por lo expuesto que en la actualidad se pueden hallar modelos que utilizan el método de simulación de Monte Carlo en decisiones empresariales y/o económicas, ámbitos de comportamiento aleatorio o probabilístico [2].

Es así como se involucra a la toma de decisiones que acarrearán un riesgo, dando origen al análisis de riesgo, que es una técnica cada vez más utilizada en la apoyatura de la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre, mediante la cual se pueden obtener resultados que se acerquen lo más posible a lo que ocurrirá en el futuro, como una forma imprescindible de encarar una evaluación económica. De lo expuesto surge la necesidad de recurrir a métodos que consideren y cuantifiquen el riesgo.

En la actualidad, los encargados de la toma de decisiones emplean planillas de cálculo en sus evaluaciones de proyectos [3], por ello se han diseñado en tal sentido programas que se emplean como complementos de Microsoft Excel (Add-in).

Estos programas, al aplicar el método de simulación Monte Carlo para efectuar un análisis de riesgo, permiten asignar distribuciones de frecuencias a las variables del modelo que tienen riesgo y, posteriormente generar números aleatorios acordes a esas distribuciones "simulando" el comportamiento que se considera que tendrán en el futuro. Esta forma de trabajo permite darle más realismo al modelo en estudio, llevando a la obtención de resultados más confiables a la hora de tomar una decisión. Esta forma de trabajo es ampliamente superadora de los análisis de riesgo tradicionales, que se efectuaban estudiando escenarios estáticos y unidimensionales, por ejemplo, un escenario pesimista, uno medio y uno optimista, permitiendo sólo predecir un resultado al sensibilizar las variables. La forma de trabajo propuesta permite completar ampliamente este enfoque, dándole dinamismo al estudio, ya que por esta vía no se obtienen los puntos extremos, sino todos los escenarios intermedios factibles. Es justamente esto lo que permite estimar los intervalos de probabilidad para diversos umbrales de una variable que habilite a saber si un determinado proyecto de inversión es rentable.

En este estudio llevado adelante, se ha confeccionado una hoja de cálculo en Excel para la determinación de precio de venta, despachada en la planta asfáltica, de una tonelada de mezcla asfáltica en caliente. Esta

hoja posteriormente se somete a una simulación con el método Monte Carlo, por medio de unos de estos programas complementos de Excel que se han señalado, específicamente el programa SimulAr, que es de acceso y uso libre. En esta simulación se establecen las distribuciones de los costos de los recursos ante escenarios planteados, obteniéndose las distribuciones probabilísticas del Beneficio, a partir del precio de venta al público fijado, ante diversos plazos desde el presupuesto al pago efectivo.

La hoja de cálculo Excel desarrollada tiene incorporados los siguientes aspectos:

- Rendimiento de la planta asfáltica; establecido por medio de la producción horaria de mezcla asfáltica [tn/hora] y la mínima producción diaria para la venta [tn/día].
- Mano de obra; dada por los costos según salario mínimo para oficial especializado, oficial, ayudante y encargado [\$/hora]. Estos costos se afectan por una incidencia por mejoras sociales, seguro obrero y otras cargas, obteniéndose en forma conjunta con las horas de trabajo, los costos diarios para cada categoría de operario [\$/día].
- Materiales; incorporados a la hoja mediante su costo puesto en planta sin IVA [\$/tn], más los costos de combustibles necesarios para el funcionamiento de la planta y su limpieza [\$/litro].
- Equipos; considerados según su valor económico [\$] y potencia requerida en HP, valores a partir de los cuales se establece luego su consumo, amortización, interés, gastos en lubricantes y repuestos y reparaciones. Se incorporan bajo este concepto por ejemplo a la balanza, los cargadores frontales, los depósitos de asfalto en caliente, la planta asfáltica propiamente dicha, etc.
- Análisis final del costo de producción; se establece adicionalmente la dosificación de la mezcla asfáltica, la conformación de la cuadrilla de operarios y una incidencia del rubro de vigilancia respecto del costo de mano de obra.
- Precio de venta al público; se calcula con el costo de producción afectado por el beneficio deseable, los gastos generales, los gastos financieros y los impuestos.

Dada esta hoja de cálculo desarrollada, los recursos que son factibles de verse afectados en mayor o menor medida por las fluctuaciones económicas son:

- \$/hora básicos para oficial especializado, oficial, ayudante y encargado.
- \$/tn en planta de áridos gruesos, áridos finos, fílleres, aditivos y cemento asfáltico.
- \$/litro en planta de los combustibles.
- Costo actual de los equipos.

Paso seguido, se deben establecer cuáles son las variables de entrada del modelo a ser sometido a simulación, entendiendo a las mismas como a aquellas partidas, factores, índices, etc., que se supone tendrán un comportamiento aleatorio en el futuro. Dado que ese comportamiento aleatorio responderá a una determinada distribución probabilística, debe hallarse qué tipo de distribución es la que presenta un mayor grado de ajuste a sus características intrínsecas.

El análisis del problema en particular permite establecer que la variable de entrada a ser considerada es el incremento porcentual de costos mensual, expresado como una tasa de interés compuesta, de acuerdo a lo que puede observarse en la Ecuación 1.

$$P_j = P_i \cdot (1 + \Delta CM_{ij}) \quad (1)$$

Donde:

$P_i$  = Costo del recurso en el mes  $i$

$P_j$  = Costo del recurso en el mes  $j = i + 1$

$\Delta CM_{ij}$  = Incremento porcentual del costo del recurso entre el mes  $i$  y el mes  $j$

Una forma de arribar a la distribución probabilística asignable a este incremento porcentual mensual, es la de recurrir al análisis de series históricas relacionables en tal sentido, permitiendo la obtención de los estadísticos principales que permiten describir tal distribución.

El contar luego con estos estadísticos da la posibilidad plantear diferentes escenarios de simulación, para diversos plazos en meses entre la confección del presupuesto y el pago por la provisión de la mezcla asfáltica.

Partiendo entonces de la hoja de cálculo confeccionada bajo estos parámetros, se puede entonces fijar las variables de salida, como aquellas de las cuales se pretende estudiar su comportamiento, siendo indispensables para obtener la información que sirva de apoyo para la toma de decisiones. Para el caso en estudio, como ya fuera expresado, las variables de salida seleccionadas son los Beneficios porcentuales respecto del precio de venta al público fijado al presupuestar, en los distintos escenarios. El valor de la variable Beneficio surge en cada escenario como la diferencia entre el precio de venta al público, el costo de producción simulado (variable en función de los valores que tomen las variables de entrada) y el resto de descuentos ya citados (gastos generales, gastos financieros, impuestos, etc.).

Como paso final se hace correr la simulación tantas veces como se desee. El software SimulAr empleado permite efectuar este paso en forma automática, permitiendo realizar hasta 1.000.000 de simulaciones contiguas, siendo el valor por defecto de 10.000 simulaciones.

Los resultados obtenidos para las variables de salida de todas estas simulaciones permiten la construcción de sus distribuciones probabilísticas, a partir de las cuales pueden ejecutarse los análisis correspondientes para la toma de decisión.

### **3- RESULTADOS**

Para establecer la distribución probabilística de las variables de entrada, se ha hallado que de los datos disponibles uno que puede utilizarse como indicativo es el del Índice de Costo de la Construcción (ICC), para el rubro de Movimientos de Suelos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). Este ítem, si bien

no cuenta como insumo a la provisión de mezcla asfáltica, resulta el más relacionable con la misma de entre los que el INDEC pone a disposición en tal sentido (estructura, albañilería, yesería, pintura, etc.). El ICC mide las variaciones que experimenta el costo de la construcción privada de edificios destinados a vivienda. Para ello mensualmente se valorizan los elementos necesarios para la construcción de modelos de vivienda que se consideran representativos del período base enero de 1.993.

La Figura 1 muestra la gráfica de control confeccionada con el programa Statgraphics, para los incrementos de costos mensuales declarados por el INDEC de los últimos 100 meses, hasta abril de 2014, tomados en grupos de a 3. En el eje X se observan los valores para cada subgrupo de a 3 y en el eje Y en partes por mil los incrementos del ICC de un mes respecto del mes anterior.

La gráfica permite ver como en los últimos registros la tendencia se dispara hacia arriba, poniendo de manifiesto una acentuación en el proceso inflacionario registrado en el último año.

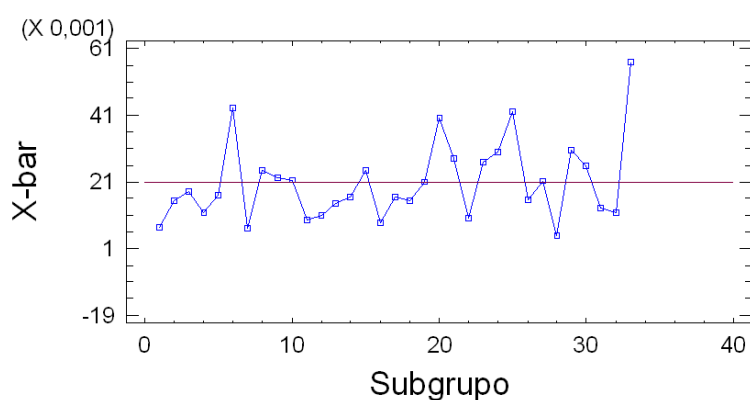


Figura 1. Gráfica de control de incrementos del ICC – Movimientos de Suelos en los últimos 100 meses

Dada esta situación, se confecciona la Tabla 1 que muestra entonces para los últimos 12 meses al momento de realizar el estudio, los valores de ICC – Movimiento de Suelos y los  $\Delta CM_{ij}$  correspondientes [4].

Tabla 1. Datos históricos analizados

MES	ICC - Movimiento de Suelos	$\Delta CM_{ij}$
may-13	1068,6	4,50%
jun-13	1114,2	4,27%
jul-13	1103,4	-0,97%
ago-13	1104,0	0,05%
sep-13	1145,1	3,72%
oct-13	1146,5	0,12%
nov-13	1147,2	0,06%
dic-13	1151,9	0,41%
ene-14	1186,9	3,04%
feb-14	1278,1	7,68%
mar-14	1291,8	1,07%
abr-14	1399,1	8,31%

A partir de estos datos el programa SimulAr permite analizar cuál es la tipología de distribución que mejor refleja a la variable en análisis. Para este caso en particular se ha establecido que esta distribución es la normal, arribándose a un p-valor de 0,67 para el ajuste Chi-Cuadrado, lo cual resulta estadísticamente aceptable, máxime si se lo compara con los obtenidos por la misma vía para otros tipos de distribuciones de las habitualmente utilizables (triangular, uniforme, etc.) [5]. La Figura 2 permite observar el ajuste entre la distribución teórica y la distribución normal obtenido al aplicar el análisis mediante el programa SimulAr.

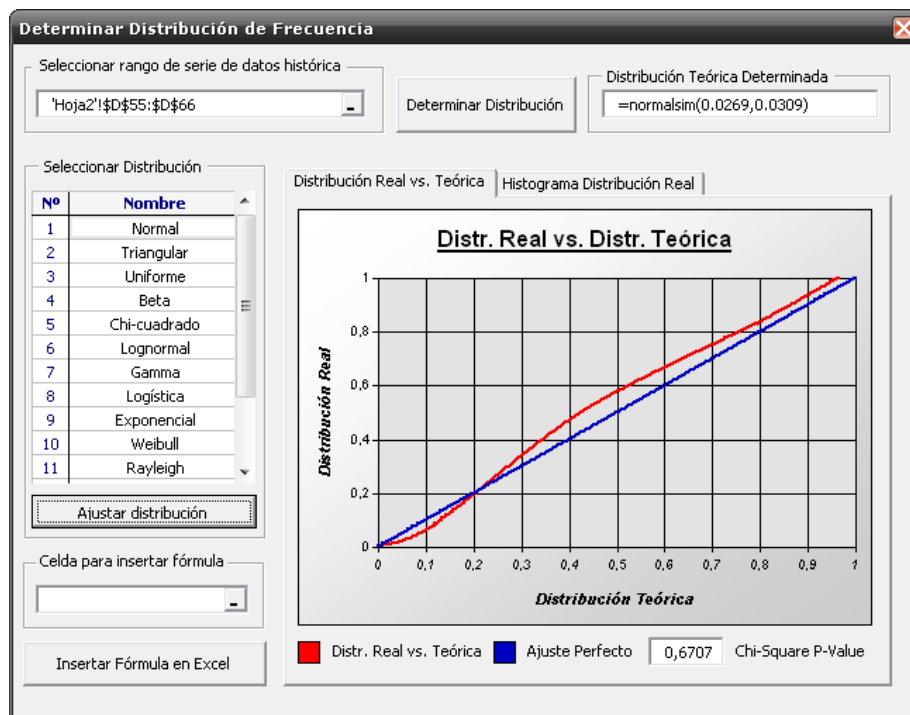


Figura 2. Gráfica de ajuste para la distribución normal

La distribución normal, o de Gauss, es la más ampliamente utilizada en experimentos de este tipo [6]. Dicha distribución posee su función de densidad (2), siendo descrita por su media  $\mu$  y su desvío estándar  $\sigma$ , según se observa en la Figura 3.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\left( \frac{1}{2\sigma^2} \right) (x - \mu)^2 \right] \quad (2)$$

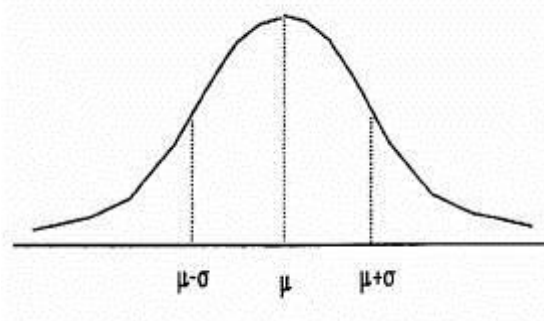


Figura 3. Gráfica de una distribución normal

La Tabla 2 muestra el resumen estadístico para la muestra analizada. Se destacan de entre los parámetros componentes, además de la media del 2,69 % y del desvío estándar de 3,09 %, a los coeficientes de asimetría y de curtosis tipificados, los cuales por presentar valores en el rango de  $|2|$  implican un ajuste estadísticamente aceptable para la distribución normal [7].

Tabla 2. Resultados del análisis estadístico

Resumen estadístico	$\Delta CM_{ij}$
Media	2,69%
Error típico	0,89%
Mediana	2,06%
Moda	#N/A
Desviación estándar	3,09%
Varianza de la muestra	0,10%
Curtosis tipificada	-0,425
Coficiente de asimetría tipificada	1,015
Rango	9,28%
Mínimo	-0,97%
Máximo	8,31%
Suma	32,27%
Cuenta	12

Buscando validar estos datos se ha analizado también los registros de costos de la Cámara Argentina de la Construcción (CAC) para una obra civil tipo. De los datos de Índice de Materiales (el cual se calcula con los valores medios de mercado para una obra tipo de arquitectura respecto de diciembre de 2001) desde enero 2013 a marzo de 2014 [8] se obtienen los incrementos mensuales de costo, presentando una media de 2,99 %, muy similar a la obtenida con los datos del INDEC, aunque con un desvío estándar menor, ubicado en el 2,00 %. Dado el aceptable grado de similitud alcanzado con los datos de la CAC, se dan por validados los estadísticos obtenidos con los datos del INDEC.

Para la obtención y análisis de resultados se han elaborado para este trabajo cuatro escenarios, de los cuales tres son factibles de ser simulados. El escenario 1 comprende la concreción de la provisión de la mezcla asfáltica en forma relativamente inmediata a la confección del presupuesto, es decir en aquellas situaciones en donde puede interpretarse no se han producido modificaciones en los costos de los recursos, o al menos en caso de haberse producido estas modificaciones resultan claramente despreciables. Los tres restantes escenarios comprenden las situaciones en donde se registran 1, 2 y 3 meses entre la confección del presupuesto y la concreción de la provisión de la mezcla asfáltica, respectivamente.

El contacto con firmas proveedoras de mezcla asfáltica en caliente de la región de La Plata ha permitido establecer los valores de mercado promedio de los recursos a ser considerados (tanto para la cuadrilla, los materiales y los equipos), los cuales permiten arribar a un Beneficio a abril de 2014 (siempre para la



situación promedio) del 11,89 % respecto del precio de venta. Este es el escenario 1, que lleva a un análisis estático de la situación.

Al simular luego, mediante 10.000 corridas, los tres escenarios restantes, se arriban a los resultados de la distribución del Beneficio que se vuelcan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de las simulaciones

	ESCENARIOS		
	MES 1	MES 2	MES 3
Mínimo	2,69%	-3,08%	-13,82%
Promedio	10,09%	8,10%	6,24%
Máximo	18,69%	18,89%	22,91%
Mediana	10,11%	8,12%	6,30%
Varianza	0,04%	0,10%	0,25%
Desvío estándar	2,10%	3,18%	5,03%
Rango	16,00%	21,97%	36,74%
Curtosis	0,080	-0,028	0,013
Coef. de asimetría	0,007	-0,097	-0,140
Coef. de variación	20,79%	39,32%	80,64%

Las gráficas de estas distribuciones se observan en la Figuras 4, 5 y 6, respectivamente.

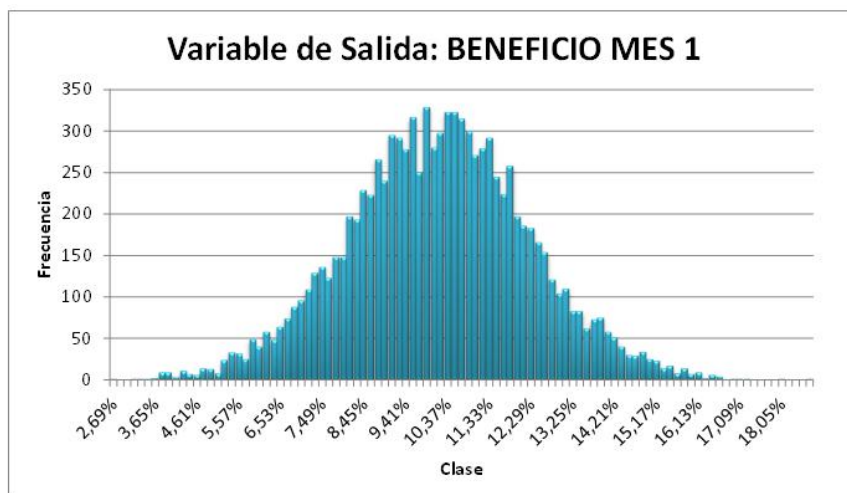


Figura 4. Gráfica de distribución para el Beneficio a un mes

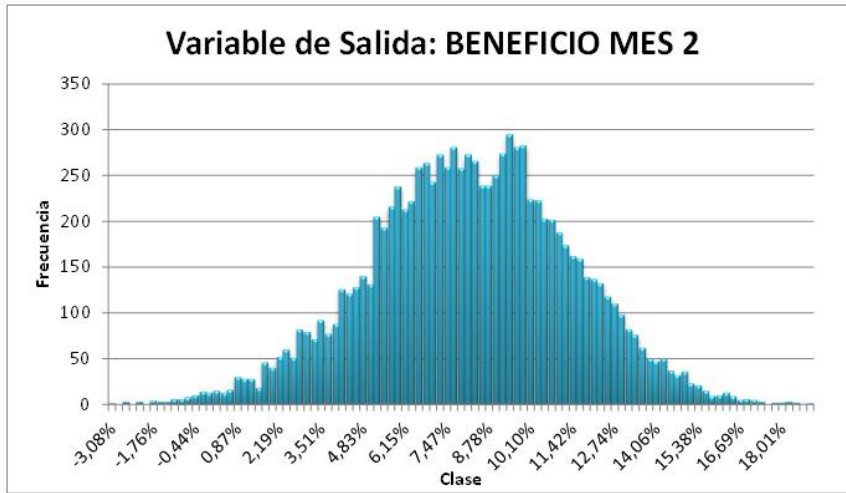


Figura 5. Gráfica de distribución para el Beneficio a dos meses

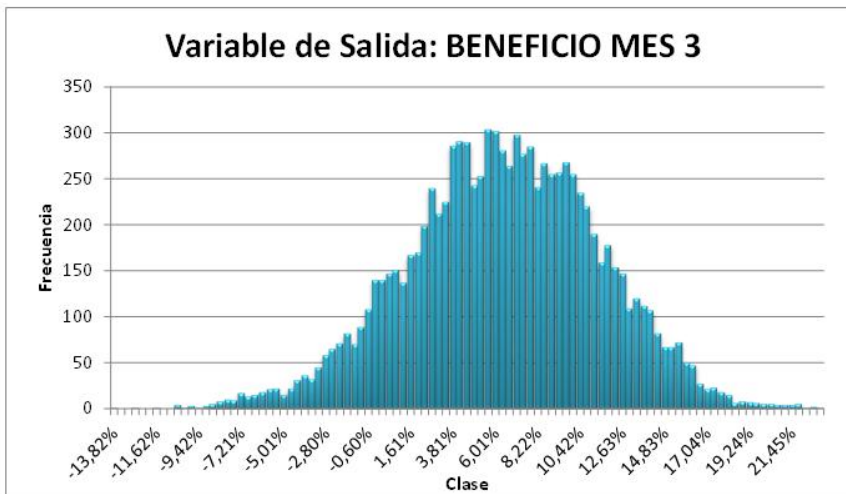


Figura 6. Gráfica de distribución para el Beneficio a tres meses

#### 4- DISCUSIÓN

Las corridas además permiten confección las gráficas de distribución acumuladas que se observan en la Figura 7, para los tres escenarios variables analizados.

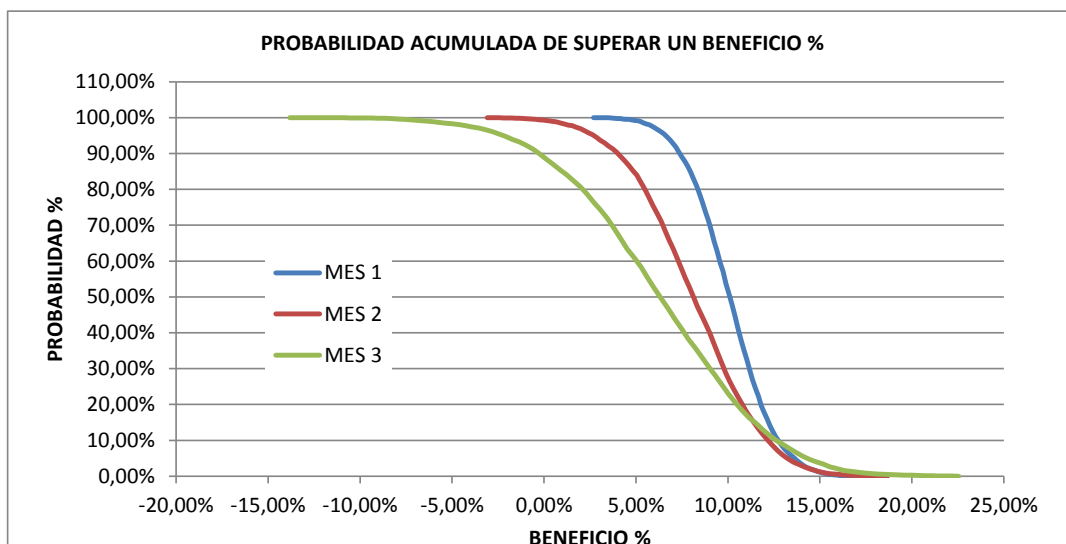


Figura 7. Gráficas de distribuciones acumuladas para el Beneficio

Gráficas como esta última resultan muy útiles en la toma de decisión, pues para el precio de venta estimado a partir de los costos actuales, sólo a manera de ejemplo puede deducirse de las mismas que:

- El Beneficio fijo de casi el 12,0 % que se obtendría con la provisión en forma inmediata a la confección del presupuesto, tiene una probabilidad de obtención reducida de aproximadamente el 20 % si transcurre un mes entre el presupuesto y la provisión, y cercana al 10 % si transcurren entre dos y tres meses.
- Si se reducen en cambio las expectativas de Beneficio en al menos un 10 % es posible observar que las probabilidades de obtenerlo si ha transcurrido un mes ascienden a aproximadamente el 60 %, si han transcurrido dos meses al 30 % y si transcurrieron tres meses al 25 %.
- Las probabilidades de registrar pérdidas (Beneficio menor al 0,0 %) si hubieran transcurrido tres meses desde el presupuesto hasta la provisión se ubican en un 10 %.

## 5- CONCLUSIÓN

Se deduce de los conceptos vertidos en este documento, que surgen del estudio de diversas fuentes de información, y de los resultados obtenidos del caso de aplicación de la planilla de cálculo desarrollada, que el análisis por simulación de Monte Carlo resulta una herramienta útil para dar mayor grado de certidumbre en la confección de presupuestos de rubros viales, en este caso de provisión de mezcla asfáltica en caliente, en situación de economías inflacionarias.

## 6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] FAULIN, Javier; ANGEL, Juan. "Simulación de Monte Carlo con Excel", Técnica Administrativa, julio/septiembre 2005, vol. 5, núm. 1, pp 58-65. ISSN 1666-1680. Disponible en Web: [http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/monte\\_carlo/monte\\_carlo.htm](http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/monte_carlo/monte_carlo.htm) [consultado abril 2014].

[2] JUDGE, Guy. "Simple Monte Carlo studies on a spreadsheet", Computers in Higher Education Economics Review (CHEER), 1999. Vol. 13, núm. 2, pp 12-14. Disponible en Web: [http://www.economics.ltsn.ac.uk/cheer/ch13\\_2/ch13\\_2p12.htm](http://www.economics.ltsn.ac.uk/cheer/ch13_2/ch13_2p12.htm) [consultado abril 2014].

[3] MACHAIN, Luciano. "Simulación de Monte Carlo en Excel. Toma de decisiones en condiciones de incertidumbre" [en línea], SimulAr, Disponible en Web: <http://www.simularsoft.com.ar/SimulAr1.htm>, [consultado abril 2014].

[4] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. "ICC - Índice del costo de la construcción en el Gran Buenos Aires por ítem de obra, desde 1996 en adelante" [boletín de divulgación], Argentina 2014.

[5] SOFTWARE-SHOP. "Simulación de Montecarlo para la toma de decisiones". Video disponible en Web: <http://www.software-videos.com/2072> [consultado mayo 2014].

- [6] JIMENEZ LOZANO, Guillermo. "Distribuciones estadísticas de funciones continuas" [en línea], Investigación Operativa II, Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales [referencia 2006]. Disponible en Web: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4060015/Lecciones/Capitulo%20VI/distribuciones.htm> [consultado mayo 2014].
- [7] STATGRAPHICS. "*Statgraphics plus manual*" [manual de software]. Statical Graphics Corporation, EEUU 2000.
- [8] CAMARA ARGENTINA DE LA CONSTRUCCION. "Indicador de la variación del costo de un edificio tipo en Capital Federal. Evolución mensual" [en línea]. Disponible en Web: <http://www.camconstrucciones.com.ar/documentos/indice-cac.pdf> [consultado mayo 2014].