

# COTIZACION DE ELABORACION DE MEZCLAS ASFALTICAS, CALCULO DE PROBABILIDADES DE BENEFICIO ANTE ECONOMIAS INFLACIONARIAS MEDIANTE SIMULACION DE MONTE CARLO

José Julián Rivera<sup>1</sup>, Luciano Germán Brizuela<sup>2</sup>, Gustavo Alejandro Das Neves<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Subdirector LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Fac. Reg. La Plata, Universidad Tecnológica Nacional Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina, jrivera@frlp.utn.edu.ar

<sup>2</sup> Integrante LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Fac. Reg. La Plata, Universidad Tecnológica Nacional Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina, lbrizuela@frlp.utn.edu.ar

<sup>3</sup> Integrante LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Fac. Reg. La Plata, Universidad Tecnológica Nacional Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina, gdneves@frlp.utn.edu.ar

## Resumen

Ante realidades inflacionarias, la cotización de los diversos rubros de una obra vial, entre los cuales se destaca el de provisión de mezcla asfáltica en caliente, posee un grado de incertidumbre en cuanto a cuál sería el beneficio esperable para la empresa proveedora, adicional a los habituales por la variación de rendimientos.

Esto se debe principalmente a la existencia de un plazo lógico desde la cotización hasta su efectiva provisión y a situaciones en donde, por tratarse de sistemas rígidos, los presupuestos no son modificables una vez presentados.

La causa de esto reside en que si bien es posible considerar una tasa de inflación mensual esperable, ésta se refleja en todos los recursos de manera más confiable y homogénea en plazos que exceden notoriamente a los habitualmente registrados en el ramo para este plazo lógico citado.

El método de simulación Monte Carlo, ofrece una opción de análisis en tal sentido, ya que permitiría 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 recursos en forma individual. Luego, gracias a esa distribución podrían establecerse los intervalos de confianza esperables para distintos umbrales de Beneficio, disminuyéndose el grado de incertidumbre de quien confecciona el presupuesto por parte del proveedor de la mezcla asfáltica.

Pero el empleo de este método no es de uso habitual en la ingeniería vial, pues se lo considera más relacionado al área de las ciencias económicas, no obstante resultar de sencilla aplicación.

El presente trabajo aborda la temática planteada, intentando acercar a la ingeniería vial una visión particular en cuanto al empleo del método de Monte Carlo, llevando a la generación de una hoja de cálculo sometida a simulación en un ejemplo de aplicación y al posterior análisis de resultados.

**Palabras Clave:** cotización mezcla asfáltica, simulación Monte Carlo, economías inflacionarias.

## 1 Introducción

Cuando se trabaja en la cotización de obras viales en situaciones de economías inflacionarias, se genera un grado de incertidumbre al momento de fijar el precio de cada ítem, no quedando la producción de mezcla asfáltica en caliente exenta en tal sentido.

Esta situación ha sido manifestada con preocupación por parte de representantes de diversas empresas proveedoras, con las cuales los autores mantienen contacto habitualmente, sobre todo en la ciudad de La Plata y Gran La Plata. En charlas mantenidas con estos representantes de empresas se pudo consensuar, en forma bastante amplia, que un elemento que podría aportar en tal sentido sería el superar la habitual técnica de cálculo de un único Beneficio estimativo por la del cálculo de la distribución de probabilidades que diversos umbrales de Beneficio. Todo esto además, a diversos plazos entre la confección del presupuesto y la efectivización de los pagos.

Intentando establecer la manera mediante la cual se podría arribar a tales resultados, es que se han encarado consultas a diversas fuentes bibliográficas y a profesionales de diferentes disciplinas, que pudieran acercar conceptos que permitan acceder a un principio de solución a la problemática. Es de ese modo como los autores del trabajo arriban al método de simulación Monte Carlo, decidiendo investigar si el mismo es factible de ser utilizado para el fin planteado.

El presente trabajo entonces, que es parte constituyente del proyecto de investigación y desarrollo “Análisis técnicos y económicos en sistemas de gestión de plantas asfálticas” (Código TVIFILP0002083TC y 25/EI-01 del Programa de Incentivos del Ministerio de Educación de la Nación), y que ha sido desarrollado en el LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, aborda la implementación del método de simulación de Monte Carlo para la obtención de curvas de distribución de probabilidades del Beneficio en la cotización de la elaboración de mezcla asfáltica en caliente ante realidades inflacionarias y ante diversos plazos desde la confección del presupuesto y la materialización del pago por la mezcla provista.

## 2 Materiales y métodos

La simulación de Monte Carlo es una técnica de análisis que combina conceptos estadísticos (muestreo aleatorio) con la capacidad que tienen las actuales computadoras de generar números pseudo-aleatorios y automatizar cálculos [1]. La técnica se origina en el trabajo desarrollado por Stan Ulam y John Von Neumann a finales de los 40 en el laboratorio de Los Alamos, cuando investigaban el movimiento aleatorio de los neutrones. Posteriormente, la simulación de Monte Carlo se ha aplicado en una infinidad de ámbitos en la estimación de soluciones para problemas complejos como alternativa a los modelos matemáticos exactos. Es por esto que actualmente se pueden encontrar modelos que emplean simulación de Monte Carlo en decisiones empresariales y económicas, dado que son ámbitos de comportamiento aleatorio o probabilístico [2].

La técnica es de aplicación en el análisis y evaluación de negocios y toma de decisiones que involucran riesgo. El análisis de riesgo es una técnica cada vez más utilizada para apoyar la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre. Bajo ese contexto, obtener resultados que se acerquen lo más preciso posible a lo que acontecerá en el futuro se torna imprescindible a la hora de efectuar una evaluación económica. De allí surge la necesidad de recurrir a métodos que consideren y cuantifiquen el riesgo. En la actualidad, los encargados de la toma de decisiones acuden a planillas de cálculo para confeccionar sus modelos o evaluar sus proyectos [3]. Es por ello que existen programas diseñados como complementos de Microsoft Excel (Add-in) a tal efecto.

El método de simulación Monte Carlo para efectuar un análisis de riesgo consiste en 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. De esta manera es posible darle más realismo al modelo, obteniendo resultados más confiables a la hora de tomar una decisión.

Tradicionalmente, los análisis de riesgo se efectuaban estudiando escenarios estáticos y unidimensionales, por ejemplo, un escenario pesimista, uno medio y uno optimista prediciendo sólo un resultado, al sensibilizar las variables. La simulación de Monte Carlo permite, por lo ya expuesto, completar ampliamente este enfoque incorporando dinamismo al estudio, obteniendo no sólo los puntos extremos sino todos aquellos escenarios que se encuentran en el medio. De este modo se puede estimar cual es la probabilidad de que un proyecto de inversión sea rentable.

Para este caso en particular de aplicación, se ha procedido a la confección de una planilla de cálculo en Excel, utilizada en la determinación de precio al público de la tonelada de mezcla asfáltica en caliente despachada en la planta asfáltica, a los efectos de permitir la posterior simulación mediante el programa SimulAr de las distribuciones de los costos de los recursos ante escenarios planteados y obtener la distribución probabilística del Beneficio, partiendo del precio de venta al público fijado.

La planilla en cuestión tiene incorporados los siguientes aspectos:

- El rendimiento de la planta asfáltica se establece mediante la producción horaria estimada de la mezcla asfáltica en tn/hora y el nivel mínimo de producción diario para la venta en tn/día.
- Los jornales para la mano de obra se analizan introduciendo en \$/hora el costo según salario mínimo para oficial especializado, oficial, ayudante y encargado. Estos valores son luego afectados por una incidencia por mejoras sociales, seguro obrero y otras cargas, obteniéndose en conjunto con las horas de trabajo, los costos diarios para cada categoría de operario en \$/día.
- Los materiales son introducidos según su costo puesto en planta sin IVA en \$/tn y los combustibles para funcionamiento de la planta y limpieza de la misma en \$/litro.
- Los equipos son 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 a la balanza, los cargadores frontales, el depósito de asfalto en caliente y la planta asfáltica propiamente dicha.

- Para el 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.
- Con el costo de producción, afectando en cada caso como corresponde, se incluye el beneficio deseable, los gastos generales, los gastos financieros y los impuestos, para arribar finalmente al precio de venta al público.

Dada esta conformación de la planilla, se desprenden los recursos que son factibles de verse afectados en mayor o menor medida por la inflación, los cuales son:

- \$/hora básicos para oficial especializado, oficial, ayudante y encargado.
- \$/tn en planta de las piedras, arenas, filleres, cemento asfáltico y demás materiales componentes de la mezcla.
- \$/litro en planta de gasoil, fueloil y demás combustibles empleados.
- Costo actual de balanza, cargadores frontales, depósito de asfalto en caliente y planta asfáltica propiamente dicha.

Como paso siguiente resta establecer cuáles serían las variables de entrada del sistema a ser simulado, entendiendo a las mismas como a aquellas partidas, factores, índices, etc., que se cree que tendrán un comportamiento aleatorio en el futuro. Ese comportamiento aleatorio responderá a una cierta distribución probabilística, cuya forma será aquella la que mejor de ajuste a sus características intrínsecas.

El análisis del problema en particular permite establecer que la variable de entrada es el incremento porcentual de costos mes a mes, entendiendo al mismo como una tasa de interés compuesta (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  $j$

Para establecer la distribución probabilística de este incremento porcentual mensual, se recurre al análisis de series históricas relacionables en tal sentido, lo cual permite obtener los estadísticos principales que permiten describir tal distribución.

Estos estadísticos permiten luego plantear diversos escenarios de simulación, para distintos intervalos (en meses) entre la confección del presupuesto y la provisión efectiva de la mezcla asfáltica.

Con la planilla así confeccionada se fijan las variables de salida, que son aquellas de las cuales se pretende estudiar su comportamiento, siendo indispensables para obtener la información que sirva de apoyo para la toma de decisiones. En este caso las variables de salida seleccionadas son los Beneficios porcentuales respecto del precio de venta al público en los distintos escenarios, los cuales son fijados al presupuestar. El Beneficio surge en cada escenario al descontar al precio de venta al público el costo de producción simulado, que es 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.).

Finalmente se hace correr automáticamente la simulación tantas veces como se desee (el software SimulAr empleado en este trabajo permite fijar este número hasta en 1.000.000 de simulaciones, siendo el valor por defecto de 10.000 simulaciones). Con los resultados de las variables de salida de todas estas simulaciones se construyen 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, al momento de efectuarse los estudios.

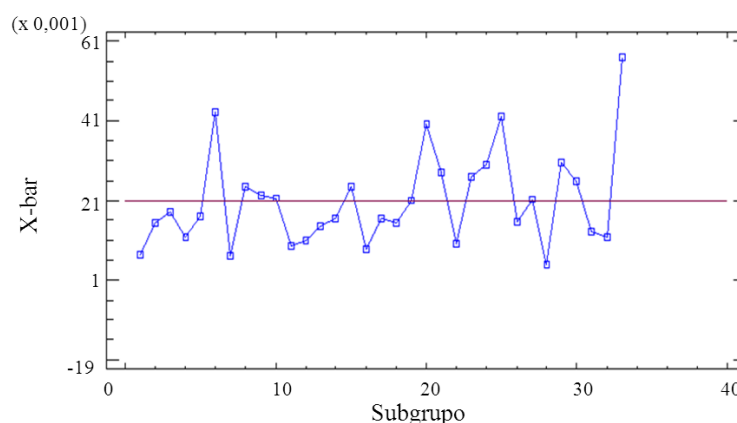


Figura 1. Gráfica de control de incrementos del ICC – Movimientos de Suelos en los últimos 100 meses

Dada esta situación, se confecciona la Tabla 1 que muestra entonces para los últimos 12 meses informados 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.

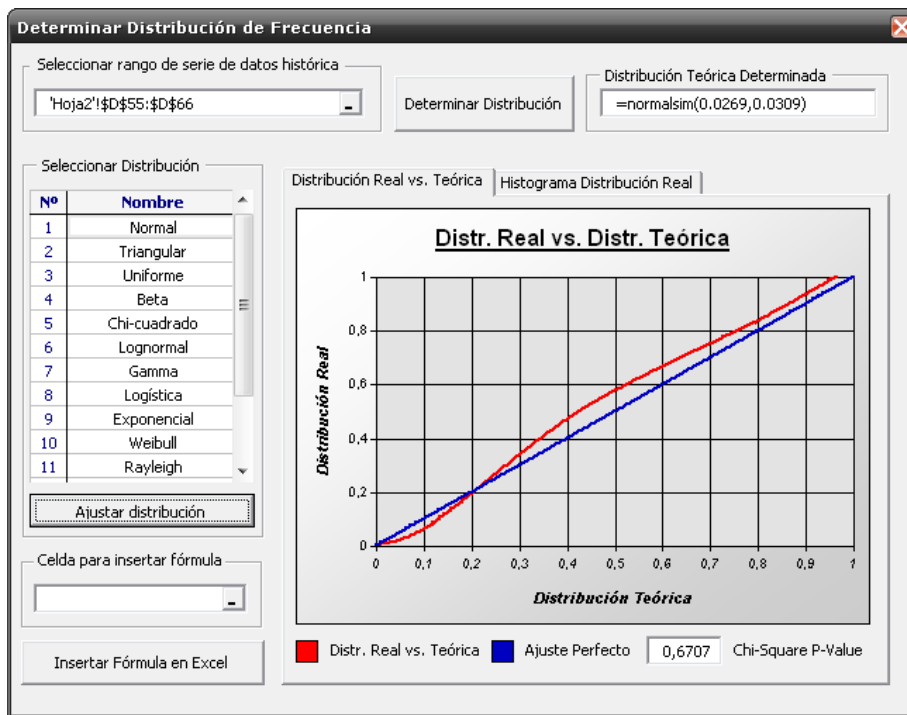


Figura 2. Gráfica de ajuste para la distribución normal

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 descripta por su media  $\mu$  y su desvío estándar  $\sigma$ , según se observa en la Figura 3.

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

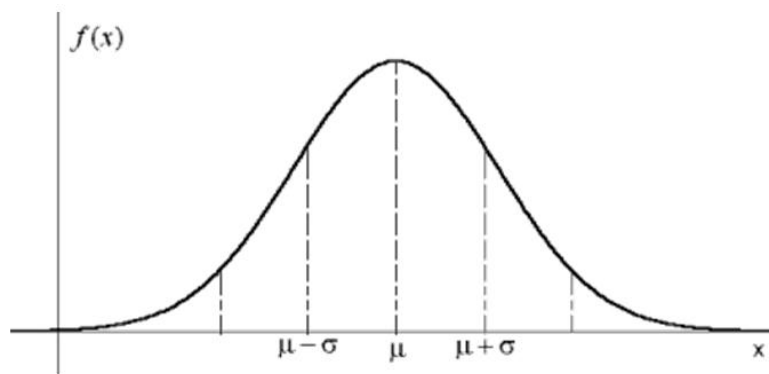


Figura 3. Gráfica de una distribución normal

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].

Buscando validar estos datos se han 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 1,96 %. 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.

Tabla 2. Resultados del análisis estadístico datos ICC

<b>Resumen estadístico <math>\Delta CM_{ij}</math></b>	
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

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 para el ejemplo de aplicación, empleando un coeficiente de resumen del 68,48 % (contempla los gastos generales, más beneficio sobre el costo neto, e impuestos), 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 los tres escenarios restantes, mediante 10.000 corridas para cada uno, se arriban a los resultados de la distribución del Beneficio que se vuelcan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de las simulaciones

<b>Parámetro</b>	<b>Escenarios</b>		
	<b>Mes 1</b>	<b>Mes 2</b>	<b>Mes 3</b>
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.

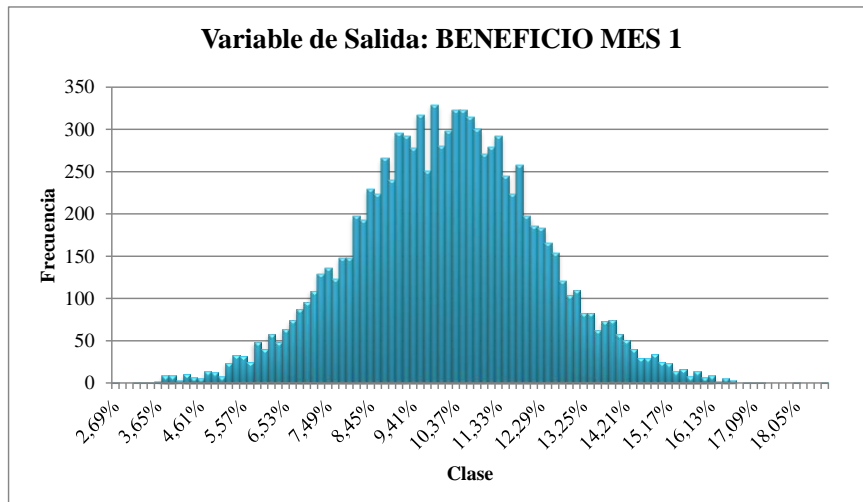


Figura 4. Gráfica de distribución para el Beneficio a un mes

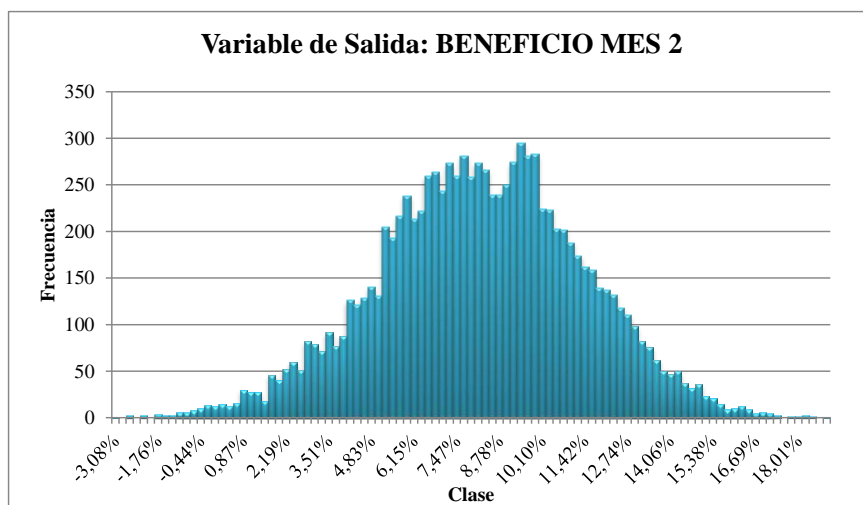


Figura 5. Gráfica de distribución para el Beneficio a dos meses

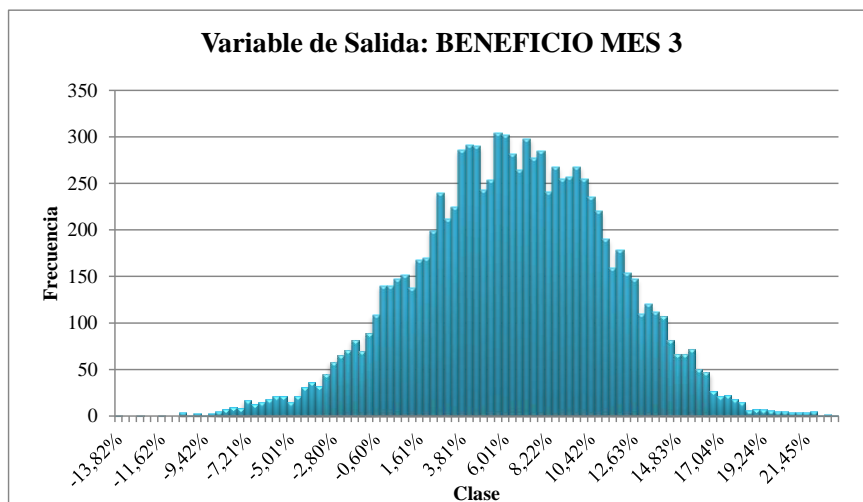


Figura 6. Gráfica de distribución para el Beneficio a tres meses

#### 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.

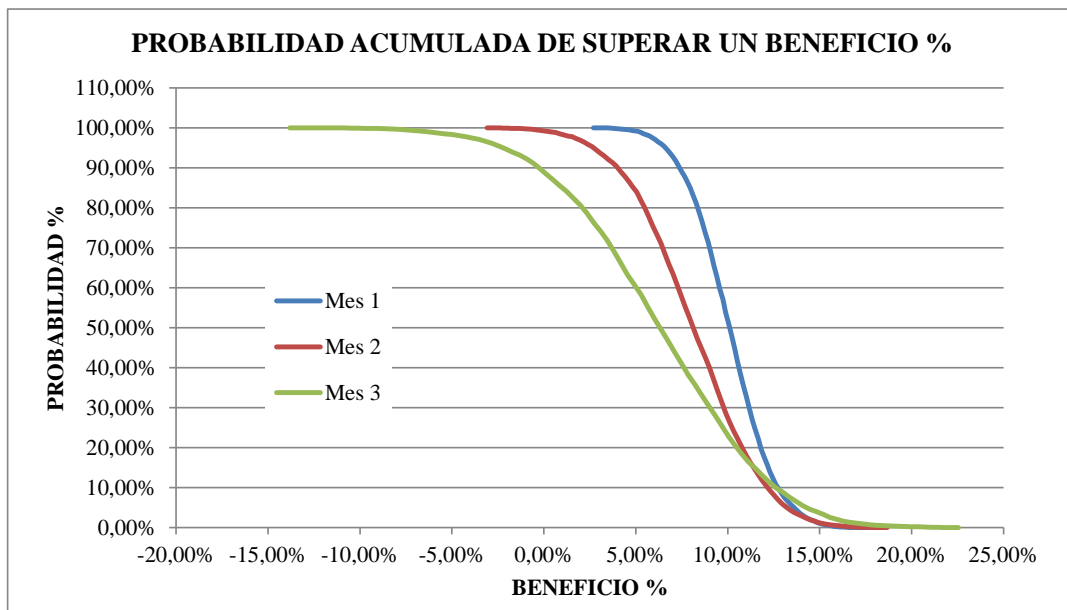


Figura 7. Gráficas de distribuciones acumuladas para el Beneficio

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 %.

Como puede observarse este conocimiento adicional al mero Beneficio determinado en forma estática, es una clara vía para la disminución de la incertidumbre de quien elabora los presupuestos relacionados.

## 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.

[1] Faulin, J.; Angel, J. "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, G. "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, L. "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] INDEC. "ICC - Índice del costo de la construcción en el Gran Buenos Aires por ítem de obra, desde 1996 en adelante" [boletín de divulgación], Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 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] Jiménez Lozano, G. "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] CAC. “Indicador de la variación del costo de un edificio tipo en Capital Federal. Evolución mensual” [en línea]. Cámara Argentina de La Construcción. Disponible en Web: <http://www.camconstrucciones.com.ar/documentos/indice-cac.pdf> [consultado mayo 2014].