

Probabilidades de beneficio en la cotización del suministro de mezcla asfáltica mediante simulación de Monte Carlo

José Julián Rivera

correo electrónico: jrivera@frlp.utn.edu.ar
Universidad Tecnológica Nacional, La Plata, Argentina

Artículo Original

Luciano Germán Brizuela

correo electrónico: lbrizuela@frlp.utn.edu.ar
Universidad Tecnológica Nacional, La Plata, Argentina

Matías Esteban Oviedo

correo electrónico: moviedo@frlp.utn.edu.ar
Universidad Tecnológica Nacional, La Plata, Argentina

Gustavo Alejandro Das Neves

correo electrónico: gdneves@frlp.utn.edu.ar
Universidad Tecnológica Nacional, La Plata, Argentina

Resumen

En economías inflacionarias, como es el caso de la economía argentina, el desarrollo de presupuestos inamovibles para diversos rubros de la obra vial, entre ellos el de provisión de mezcla asfáltica en caliente, genera un grado de incertidumbre respecto del beneficio esperable, dada la existencia de un plazo lógico desde la cotización hasta su efectiva provisión. El método de simulación Monte Carlo, ofrece una opción de análisis que permite la obtención de la distribución probabilística del *beneficio*, en función de la inclusión de distribuciones probabilísticas para el incremento de costos de los recursos, pudiéndose luego establecer los intervalos de confianza esperables para distintos umbrales de esta variable, disminuyéndose el grado de incertidumbre. Pero el empleo de este método no resulta de uso habitual en la ingeniería vial, pues se le considera más relacionado al área de las ciencias económicas. El presente trabajo aborda la temática planteada, intentando 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, procediéndose luego a un análisis en cuanto a sus resultados.

Palabras claves: ingeniería vial, cotización, mezcla asfáltica, simulación Monte Carlo

Recibido: 30 de junio del 2014 Aprobado: 13 de abril del 2015

INTRODUCCIÓN

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

Esto se debe a que si bien es posible considerar una tasa de inflación mensual esperable, esta 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. Luego, gracias a esa distribución obtenida podrían establecerse los intervalos de confianza esperables para distintos umbrales de *beneficio*, disminuyéndose el grado de incertidumbre en quien tiene la toma de decisión en la confección del presupuesto por parte del proveedor de la mezcla asfáltica.

El presente trabajo, que es parte constituyente del proyecto de investigación y desarrollo "Análisis técnicos y económicos en sistemas de gestión de plantas asfálticas" (Código TVIFILP0002083TC del Programa de Incentivos del Ministerio de Educación de la Nación), aborda la temática planteada, llevando a la generación de una planilla de cálculo sometida a simulación en un ejemplo de aplicación, que es sometido a un análisis en cuanto a sus resultados.

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 pseudoaleatorios 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 Álamos, 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. En 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 ahí 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).

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 un realismo mayor 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 solo un resultado, al sensibilizar las variables. La simulación de Monte Carlo permite completar ampliamente este enfoque incorporando dinamismo al estudio, obteniendo no solo los puntos extremos sino todos aquellos escenarios que se encuentran en el medio. De este modo se puede estimar cuál 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 t/hora y el nivel mínimo de producción diario para la venta en t/día.
- Los jornales para la mano de obra se analizan introduciendo en \$/h 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 \$/t y los combustibles para funcionamiento de la planta y limpieza de la misma en \$/L.
- 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 con 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 con respecto al 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 deducen los recursos que son factibles de verse afectados en mayor o menor medida por la inflación, los cuales son:

- \$/h básicos para oficial especializado, oficial, ayudante y encargado.
- \$/t en planta de piedra partida 6:20, arena de trituración 0:6, cal a granel, cemento asfáltico CA-30.
- \$/L en planta de gasoil y mezcla 70-30 de fueloil-gasoil.
- 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 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 que mejor se 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 $j = i + 1$.

ΔCM_{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 con respecto al precio de venta al público en los distintos escenarios, el cual es fijado 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.

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 1993.

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 tres. En el eje X se observan los valores para cada subgrupo de a tres y en el eje Y en partes por mil los incrementos del ICC de un mes respecto al mes anterior.

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

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 ΔCM_{ij} y los correspondientes [4].

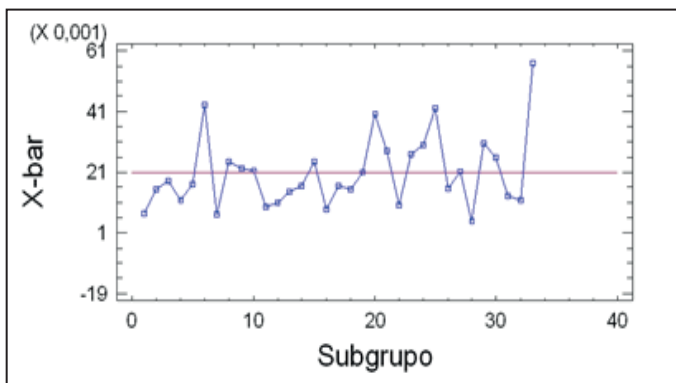


Fig. 1. Gráfica de control de incrementos del ICC – Movimientos de Suelos en los últimos 100 meses

Tabla 1 Datos históricos analizados		
MES	ICC- Movimiento de Suelos	DCM _{ij}
may-13	1068,6	4,50 %
jun-13	1114,2	4,27 %
ago-13	1103,4	-0,9 %
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 %
marz-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 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.

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 μ y su desvío estándar σ , según se observa en la figura 3.

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

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 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.

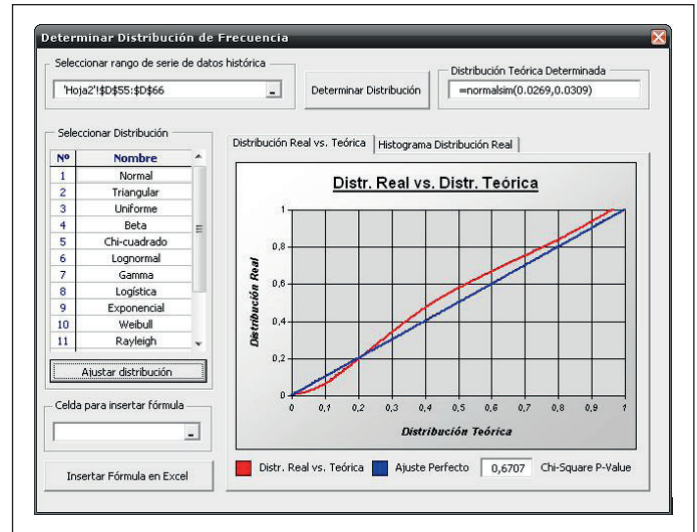


Fig. 2. Gráfica de ajuste para la distribución normal

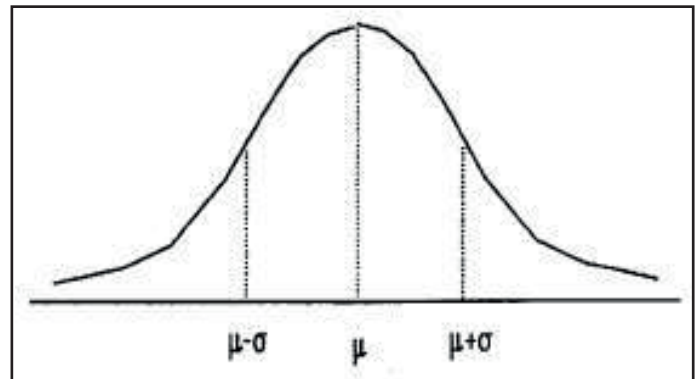


Fig. 3. Gráfica de una distribución normal

Tabla 2 Resultados del análisis estadístico	
Resumen estadístico ΔCM_{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
Coefficiente 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 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 muestran en la tabla 3.

Las gráficas de estas distribuciones se observan en las figuras 4, 5 y 6 respectivamente.

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 %

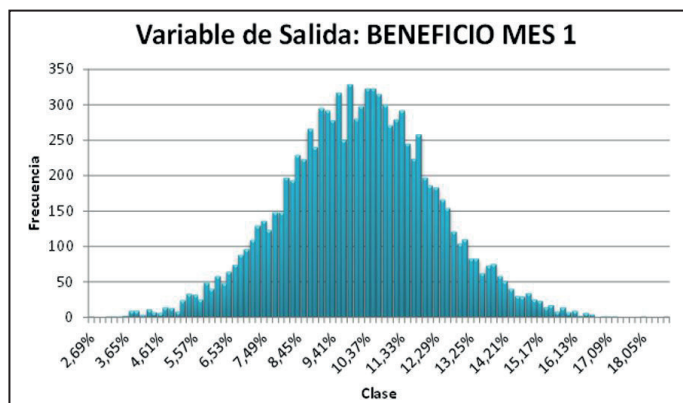


Fig. 4. Gráfica de distribución para el *beneficio* a un mes

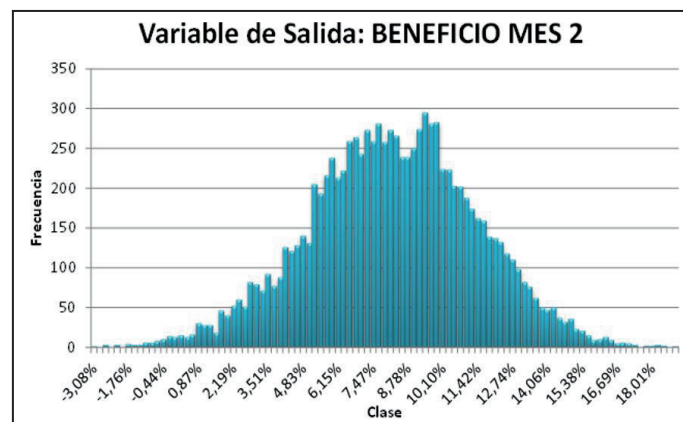


Fig. 5. Gráfica de distribución para el *beneficio* a dos meses

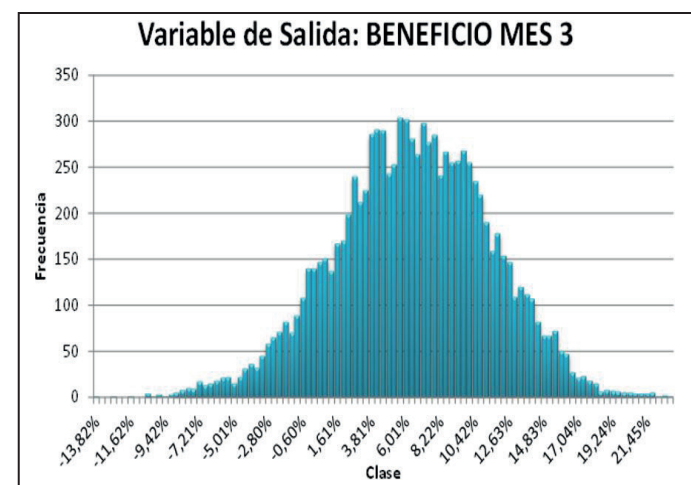


Fig. 6. Gráfica de distribución para el *beneficio* a tres meses

DISCUSIÓN

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

Graficas 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 %.

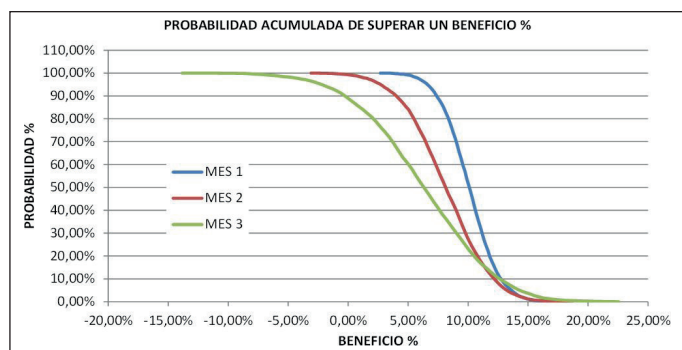


Fig. 7. Gráficas de distribuciones acumuladas para el beneficio

CONCLUSIONES

Se deduce de los conceptos tratados 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.

REFERENCIAS

1. FAULIN, Javier; ÁNGEL, 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 [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 [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. JIMÉNEZ 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, EE.UU., 2000
8. CÁMARA ARGENTINA DE LA CONSTRUCCIÓN. "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].

AUTORES

José Julián Rivera

Ingeniero Civil, Magíster en Transporte y Logística, Profesor Adjunto Ordinario, Investigador categoría II y categoría B, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional (UTN), La Plata, Argentina.

Luciano Germán Brizuela

Alumno Ayudante, UTN, La Plata, Argentina.

Matías Esteban Oviedo

Ayudante Graduado, UTN, La Plata, Argentina.

Gustavo Alejandro Das Neves

Ingeniero Civil, Investigador, Categoría IV y Categoría D, Profesor Adjunto, UTN, La Plata, Argentina.

Probability of Benefits in Asphalt Mixtures by Monte Carlo Simulation

Abstract

In inflationary economies, as is the case of Argentina, the development of rigid budgets for various items of road projects, including the provision of hot asphalt mix, creates a degree of uncertainty regarding the expected benefit, given the existence of a logical term from quotation to effective provision.

The Monte Carlo simulation method, offers a choice of analysis that allows to obtain the probability distribution of benefit, depending on the inclusion of probability distributions for the increased costs of resources, and set the expected confidence intervals for different thresholds of this variable, resulting in a minor degree of uncertainty. But the use of this method by road engineers is not commonly, because it is considered more related to the area of the economics sciences. This paper addresses the issue raised, trying to bring to road engineer a particular view of the use of Monte Carlo simulation, including the generation of a sheet subjected to simulation calculation in an application example, and an analysis for their results.

Key words: road engineering, budget of hot asphalt mix, Monte Carlo simulation