



Análisis de riesgo de presupuestos

En el presente artículo se propone un modelo pragmático para analizar y valorar el riesgo de presupuestos de construcción elaborados mediante catálogos de conceptos y matrices de precios unitarios, práctica común en la industria de la construcción en México. Se explican los diversos procesos que deben llevarse a cabo, desde la integración del presupuesto, la generación del modelo probabilístico, la definición del presupuesto de control y las reservas de contingencia hasta las principales actividades a realizar en la fase de ejecución. El modelo propuesto puede aplicarse en la fase de licitación para definir el precio de venta o en la fase de planeación para establecer el presupuesto de control o línea base.

Los presupuestos de construcción basados en precios unitarios se conforman de los siguientes elementos básicos:

1. Catálogo de conceptos. Una estructura jerárquica descendente, normalmente dividida en partidas y conceptos, que relaciona todos los trabajos por realizar. Incluye la descripción del concepto, su unidad de medida y el volumen por ejecutar. En la fase de concurso suele ser proporcionado por la entidad o empresa que licita, y en la fase de planeación es elaborado por las empresas constructoras.
2. Precios unitarios. Para cada uno de los conceptos por ejecutar incluidos en el catálogo, se define la matriz de precios

formada por insumos o recursos, consumos o rendimientos, costos directos de los insumos y factores de sobre costo que se quieran incluir como indirectos de campo y oficina central, utilidad, financiamiento, etcétera. Por orden y visibilidad de la información, las matrices de precios normalmente se ordenan de acuerdo con una estructura similar a la siguiente:

Costo total
 Costo directo
 Materiales
 Mano de obra
 Herramienta y equipo
 Subcontratos

Costo indirecto
 Campo
 Oficina central
 Financiamiento
 Utilidad
 Cargos adicionales

3. Explosión de insumos. Se trata del cálculo del costo directo del presupuesto, pero estructurado de acuerdo con los consumos totales correspondientes a los insumos que se requieren, según los rendimientos y consumos establecidos en las matrices de precios así como las cantidades de obra definidas en el catálogo.



**LUIS MIGUEL
ARROYO YLLANES**
Director general y socio fundador
de Grupo EMSI.

www.referendum.edac.uk

Las empresas constructoras realizan el proceso para generar los tres elementos descritos utilizando herramientas digitales específicamente definidas para este fin.

Identificación de variables críticas

Se entiende por variables críticas aquellos elementos del presupuesto cuyas fluctuaciones provocarían una desviación significativa en el presupuesto total o en un elemento de éste. De acuerdo con la conformación de los presupuestos de

construcción, las posibles fuentes de incertidumbre son:

- Variaciones en rendimientos de equipos y mano de obra
- Diferencias en consumos de materiales y desperdicios
- Discrepancias en cantidades de trabajo
- Movimientos de precios de insumos
- Alteraciones en factores indirectos por cambios en la duración del cronograma

Para identificar las variables críticas se analiza detalladamente el presupuesto y,

de acuerdo con la experiencia del analista, la naturaleza del proyecto, el diseño y el tipo de contrato, entre otros factores, se determina qué elementos, cantidades, consumos, rendimientos, precios y factores pueden cambiar y afectar en forma importante al presupuesto o a un elemento de éste. Tales variables o elementos críticos se documentan como se muestra en la tabla 1. Para ese ejemplo sólo se han considerado variables que afectan al costo directo, pero si se requiere, pueden determinarse variables que

TABLA 1. Identificación y cuantificación de variables críticas

Núm.	Variable-elemento crítico	Tipo	Parámetros				Correlaciones		
			Optimista	Moda	Pesimista	Media	Desviación estándar	Variable	r
1	Precio del insumo acero de refuerzo núm. 3 al 8	Uniforme	9,000.00		12,000.00				
2	Volumetría de excavación	Triangular	750.00	890.00	1,200.00				
3	Rendimiento colocación acero de refuerzo núm. 3 al 8 en cimentación	Beta-PERT	2.80	3.00	3.40			Rendimiento acero de refuerzo núm. 3 al 8 en estructura	0.60
4	Rendimiento colocación acero de refuerzo núm. 3 al 8 en estructura	Beta-PERT	2.20	2.40	2.80			Rendimiento acero de refuerzo núm. 3 al 8 en cimentación	0.60
5	Volumetría concreto premezclado	Uniforme	200.00		320.00				
6	Concreto premezclado, costo de material	Normal				1,185.00	145.00		

impacten en los factores de sobre costo o indirectos.

Variables críticas

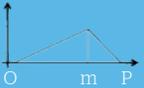
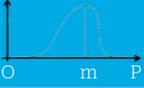
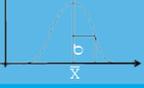
Cuantificar las variables críticas es conocer los posibles valores que puede adoptar cada una de ellas. Se valúan determinando para cada variable:

- Rango. Mínimo y máximo valor, definidos de manera estadística con los percentiles 5 y 95.

- Moda, si es aplicable.
- Media y desviación estándar, si es aplicable.
- Distribución de probabilidad. Se selecciona a partir de la información histórica de la variabilidad o bien al juicio de expertos en caso de carecer de la primera. Las distribuciones de probabilidad más comúnmente utilizadas en análisis de riesgos y los parámetros que las definen se muestran en la tabla 2.

- Correlación entre variables críticas. Las variables no son necesariamente independientes. Dos variables se consideran correlacionadas cuando una de ellas cambia y la otra también lo hace de forma sistemática. Una forma de medir la correlación entre variables en modelos de simulación es utilizar el método o coeficiente de correlación de Spearman. El factor es 0 cuando no hay correlación entre variables, +1 cuando hay correlación perfecta positiva y -1 cuando hay correlación perfecta negativa. Los valores intermedios del factor indican una correlación parcial. En la tabla 3 se observan gráficas para los diversos tipos de correlación.

TABLA 2. Funciones de distribución de probabilidad

Tipo	Función de distribución	Comentarios
Uniforme		Se conocen los valores extremos. Todos los eventos tienen la misma probabilidad de ocurrencia
Triangular		Se conocen los valores extremos y el más probable
Beta-Pert		Se conocen los valores extremos y el más probable
Normal		Se conocen la media y la desviación estándar
Discreta		Las variables de entrada sólo pueden adoptar valores específicos y se puede definir la probabilidad de ocurrencia de cada uno

La definición de los parámetros y la selección de las distribuciones de probabilidad para definir el posible comportamiento de las variables críticas se obtienen a partir de análisis estadísticos de bases de datos históricas o a través de la opinión de expertos.

La información del proceso de cuantificación de variables críticas se documenta como se muestra en la tabla 1.

Análisis probabilístico

El proceso define un presupuesto probabilístico utilizando simulaciones de Montecarlo. Simulación es seleccionar iterativamente un valor para cada una de las variables críticas, calcular el presupuesto para cada iteración y analizar de forma estadística los resultados.

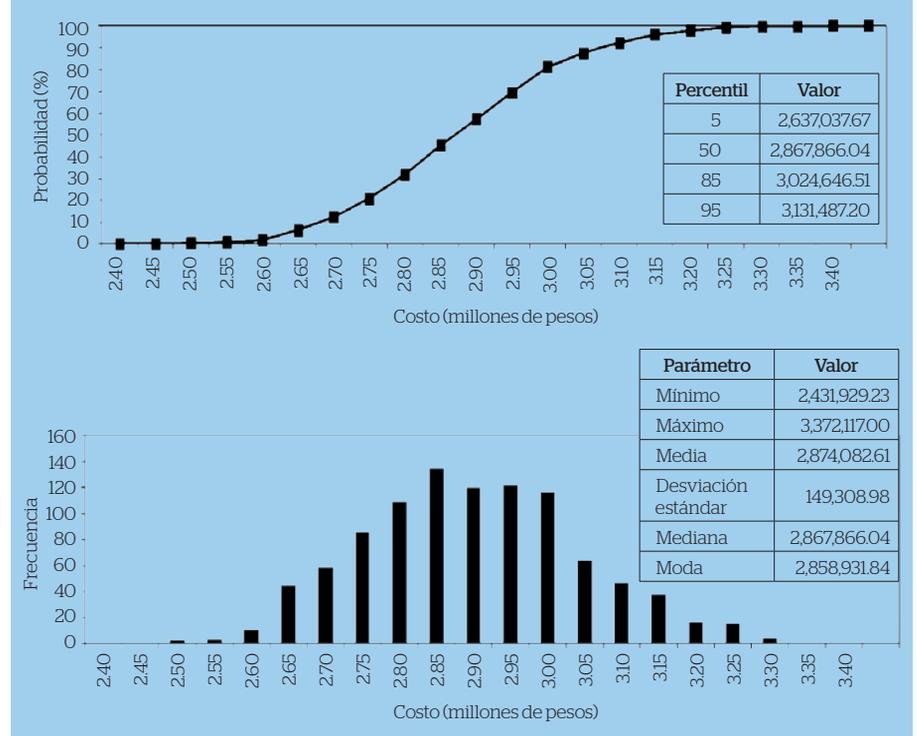
Las simulaciones se realizan en programas de computadora específicos que requieren la siguiente información:

- Variables de entrada. Son las variables críticas, elementos del presupuesto con incertidumbre que pueden impactar en la estimación de costos. La incertidumbre o riesgo de las variables se define mediante las distribuciones de probabilidad y los factores de correlación de variables indicados en el proceso de cuantificación.
- Variables de salida. Pronósticos obtenidos de la simulación, por ejemplo el costo total del proyecto, el importe de una partida, el consumo total de mano de obra, etcétera.
- Número de iteraciones. Usualmente 1,000 iteraciones son suficientes para que el modelo converja y se obtengan resultados confiables.
- Procedimiento de muestreo. Los valores de las variables se pueden obtener de forma aleatoria de las distribuciones de probabilidad o bien mediante un muestreo estratificado que generalmente acelera el proceso de convergencia.
- Nivel de convergencia. Diferencia porcentual entre simulaciones de la variación de un parámetro estadístico de una variable de salida, por ejemplo la media del costo total del presupuesto.

TABLA 3. Correlación de variables

Diagrama de dispersión	Coefficiente de correlación de Spearman Rs	Comentarios
	0	Sin correlación
	1	Correlación positiva perfecta
	-1	Correlación negativa perfecta
	0.5	Correlación positiva parcial

GRÁFICA 1. Distribuciones de probabilidad del costo total del proyecto

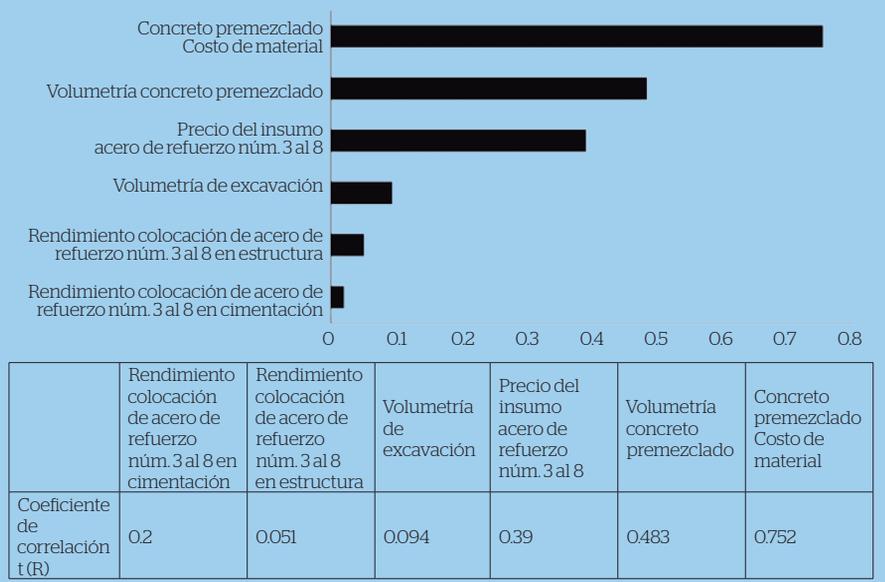


Entre más pequeño sea el nivel de convergencia solicitado, mayor será el número de simulaciones y el tiempo de procesamiento requerido.

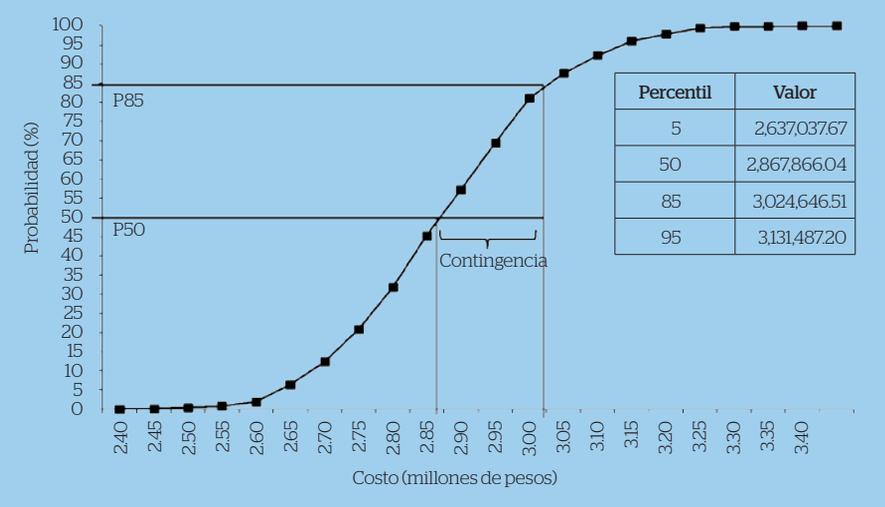
Los principales entregables del proceso de análisis probabilístico son:

- Distribuciones de probabilidad de las variables de salida. Pueden ser parciales o acumuladas. La forma y los parámetros estadísticos obtenidos definen la incertidumbre general del presupuesto. En la gráfica 1 se observan las distribuciones de probabilidad parcial

GRÁFICA 2. Diagrama de tornado



GRÁFICA 3. Definición de contingencia



y acumulada y los parámetros estadísticos de la variable de salida —el costo total del proyecto— obtenida mediante simulaciones de Montecarlo en un presupuesto a precios unitarios, tomando como variables de entrada los elementos críticos mostrados en la tabla 1.

- Diagramas de tornado. Son una representación gráfica del análisis de sensibilidad que muestra la influencia o

correlación de los elementos críticos o variables de entrada con respecto a una variable de salida. En la gráfica 2 puede verse el diagrama de tornado para el costo total del proyecto.

Presupuesto de control y contingencia

Otro proceso consiste en la definición del presupuesto de control y las reservas

de contingencia necesarias para asegurar que haya una probabilidad razonable de no exceder el costo de control durante la ejecución del proyecto.

La línea base de costo o presupuesto de control se usa como referencia para monitorear o controlar el proyecto a nivel de una partida o cuenta de costos y a nivel total del proyecto.

Se recomienda que el presupuesto de control se establezca con un nivel de probabilidad de cumplimiento del 50%, que equivale al percentil 50 (P50) del pronóstico o variable de salida del análisis probabilístico. Esta premisa implica un enfoque neutral del riesgo, ya que al P50 la partida o cuenta de costos tiene la misma probabilidad de exceder o disminuir el presupuesto.

La contingencia se define a partir de la distribución de probabilidad acumulada para el costo total del proyecto. Se obtiene incrementando el nivel de confianza de cumplimiento a un valor que se considere razonable, como por ejemplo 85%. La probabilidad de cumplimiento la define la dirección de la empresa basada en factores como importancia del proyecto, capacidad de la empresa, competencia, tamaño y tipo de contrato, multas y ubicación del proyecto, entre otros. En la gráfica 3 puede observarse el procedimiento para definir la contingencia a partir de la distribución de probabilidad acumulada de la variable de salida —el costo total del proyecto—. El resultado numérico se resume en la tabla 4.

El tamaño de la reserva de contingencia está basado en el nivel de incertidumbre del presupuesto probabilístico,

representado por la forma de la curva de distribución de probabilidad así como el nivel de probabilidad de cumplimiento definido como aceptable. En la gráfica 4 se muestra la reserva de contingencia para varias curvas de distribución de probabilidad de la variable de salida –costo total del proyecto–. Se observa claramente que conforme disminuye la pendiente se incrementan el rango, la incertidumbre y la reserva de contingencia. En la gráfica 4 puede verse también un presupuesto determinista con un solo valor, representado por una línea vertical, en cuyo caso no se requiere reserva de contingencia. El presupuesto determinista es el enfoque tradicionalmente empleado y el probabilístico es el sugerido en el presente artículo.

Seguimiento y control

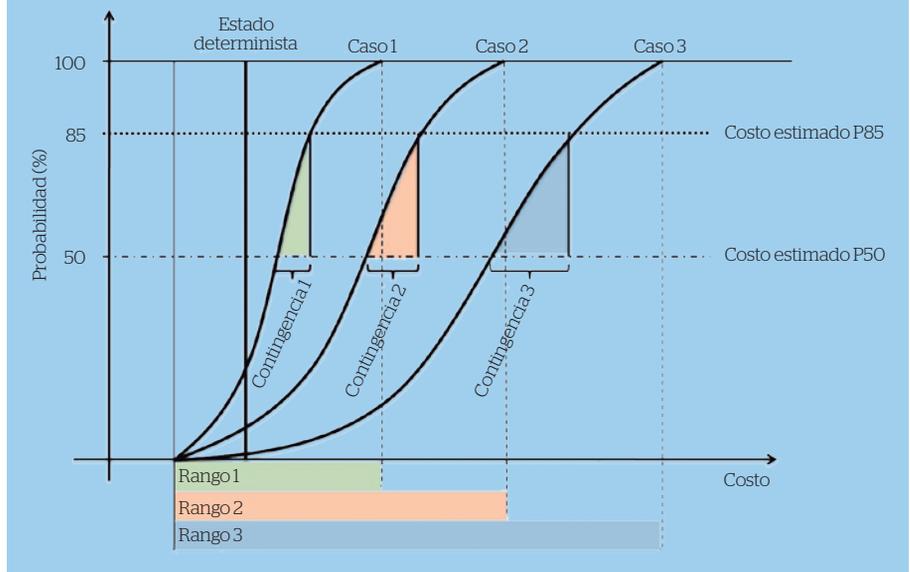
El proceso de seguimiento y control se lleva a cabo durante la fase de ejecución y las principales actividades a realizar son:

- Dar seguimiento a las variables críticas para asegurar que se encuentran dentro de los rangos estimados.
- Gestionar proactivamente las variables críticas para minimizar variaciones que puedan impactar el costo.

TABLA 4. Definición numérica de contingencia

Concepto	Importe (\$)	Probabilidad de cumplimiento (%)
Pronóstico P50	2,867,866.04	50
Contingencia	156,780.47	
Pronóstico P85	3,024,646.51	85

GRÁFICA 4. Análisis comparativo de contingencias



- Autorizar desembolsos de la reserva de contingencia.
- Revisar periódicamente supuestos y variables del análisis probabilístico.
- Llevar a cabo nuevas simulaciones y obtener nuevos pronósticos de costo.
- Actualizar, según se requiera, el presupuesto de control y la reserva de contingencia.
- Regresar contingencia excedente, no requerida, conforme el proyecto avanza y el riesgo disminuya.

Conclusiones

El modelo propuesto permite analizar el riesgo o la incertidumbre de un presupuesto de construcción integrado mediante catálogos de conceptos y matrices de precios unitarios; es aplicable en las diferentes fases del ciclo de vida de los proyectos: licitación, planeación y seguimiento y control. Para realizar los análisis probabilísticos propuestos se requiere la utilización de herramientas digitales de simulaciones que operen sobre los modelos matemáticos de presupuestos.

El modelo de visibilidad, evalúa cuantitativamente el nivel de riesgo del presupuesto y permite establecer la reserva de contingencia en forma objetiva de acuerdo con el nivel de riesgo que se quiera aceptar.

La utilidad y validez de la información que brinda el modelo depende fundamentalmente de la calidad de información proporcionada, en específico sobre la cuantificación de la variabilidad o incertidumbre de las variables críticas 🛑

Bibliografía

- Arroyo, L. M. (2012). An integrated, pragmatic approach to effectively manage project risk. AACE International Transactions.
- Hamilton, A. (2015). Capítulo 31, "Risk management fundamentals"; capítulo 32, "Risk management practical guide". En: Amos, S., *Skills & knowledge of cost engineering*. Morgantown: AACE International.
- Hollman, J. K. (2008). AACE International recommended practice 40R-08, Contingency estimating-general principles. AACE International.
- Hollman, J. K. (2009). AACE International recommended practice 44R-08, Risk analysis and contingency determination using expected value. AACE International.
- Humphreys, K. K. (2008). AACE International recommended practice 41R-08, Risk analysis and contingency determination using range estimating. AACE International.
- Microsoft Excel Palisade Corporation (2013). Guía para el uso de @RISK. Programa de complemento para el análisis y simulación de riesgos. Nueva York.
- Project Management Institute (2013). A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). Capítulo 11, "Project risk management". Pennsylvania.