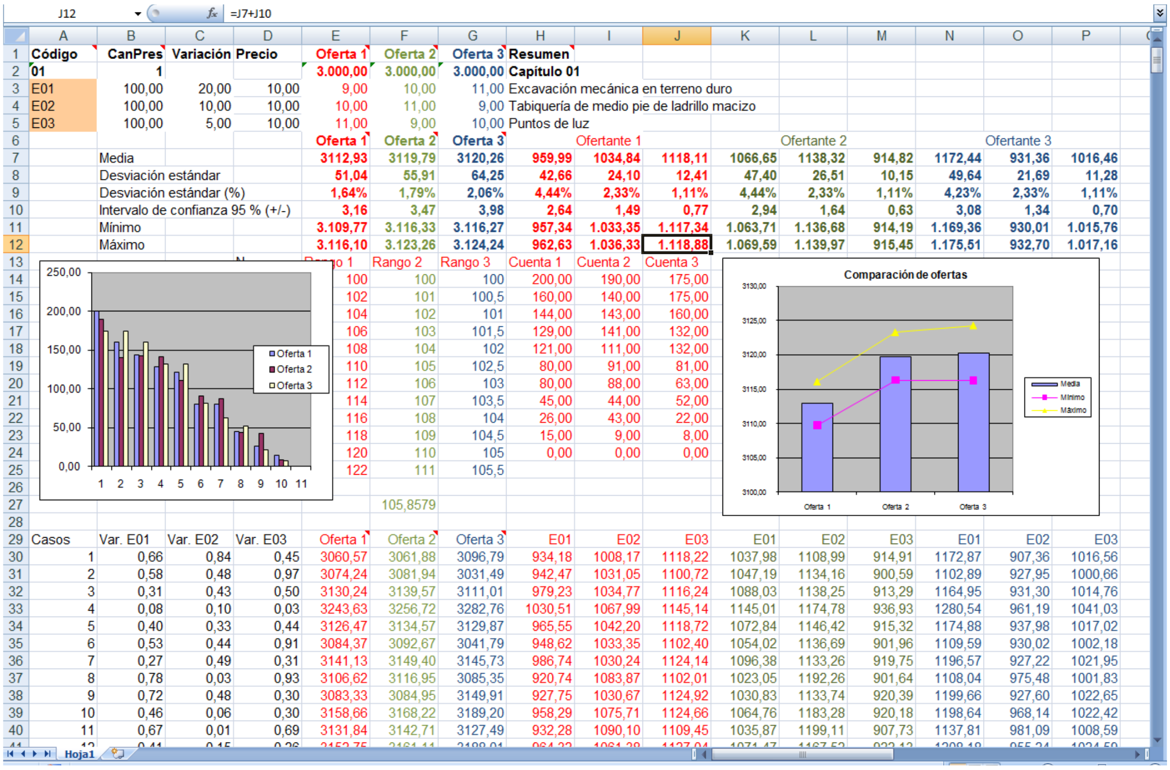
Fernando Valderrama

Aplicación del método de Monte Carlo a la comparación de ofertas en construcción

La comparación de ofertas requiere unas herramientas de análisis capaces de discriminar entre propuestas que teniendo un importe global parecido pueden presentar un impacto económico muy diferente.

La obtención de medias y desviaciones estándar horizontales, por unidades de obra, detecta los elementos de la obra con más diferencias, que pueden deberse a especificaciones incorrectas o riesgos.

Las medias verticales, comparando la diferencia entre cada ofertante y la media o el presupuesto del estudio, detectan la estrategia de cada uno de ellos, desde la baja global al análisis minuciosa de cada una de las operaciones.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Código	CanPres	Variación	Precio	Oferta 1	Oferta 2	Oferta 3	Resumen								
2	01	1			3.000,00	3.000,00	3.000,00	Capítulo 01								
3	E01	100,00	20,00	10,00	9,00	10,00	11,00	Excavación mecánica en terreno duro								
4	E02	100,00	10,00	10,00	10,00	11,00	9,00	Tabiquería de medio pie de ladrillo macizo								
5	E03	100,00	5,00	10,00	11,00	9,00	10,00	Puntos de luz								
6					Oferta 1	Oferta 2	Oferta 3		Ofertante 1			Ofertante 2			Ofertante 3	
7		Media			3112,93	3119,79	3120,26	959,99	1034,84	1118,11	1066,65	1138,32	914,82	1172,44	931,36	1016,46
8		Desviación estándar			51,04	55,91	64,25	42,66	24,10	12,41	47,40	26,51	10,15	49,64	21,69	11,28
9		Desviación estándar (%)			1,64%	1,79%	2,06%	4,44%	2,33%	1,11%	4,44%	2,33%	1,11%	4,23%	2,33%	1,11%
10		Intervalo de confianza 95 % (+/-)			3,16	3,47	3,98	2,64	1,49	0,77	2,94	1,64	0,63	3,08	1,34	0,70
11		Mínimo			3.109,77	3.116,33	3.116,27	957,34	1.033,35	1.117,34	1.063,71	1.136,68	914,19	1.169,36	930,01	1.015,76
12		Máximo			3.116,10	3.123,26	3.124,24	962,63	1.036,33	1.118,88	1.069,59	1.139,97	915,45	1.175,51	932,70	1.017,16
13					[illegible]o 1	Rango 2	Rango 3	Cuenta 1	Cuenta 2	Cuenta 3						
14					100	100	100	200,00	190,00	175,00						
15					102	101	100,5	160,00	140,00	175,00						
16					104	102	101	144,00	143,00	160,00						
17					106	103	101,5	129,00	141,00	132,00						
18					108	104	102	121,00	111,00	132,00						
19					110	105	102,5	80,00	91,00	81,00						
20					112	106	103	80,00	88,00	63,00						
21					114	107	103,5	45,00	44,00	52,00						
22					116	108	104	26,00	43,00	22,00						
23					118	109	104,5	15,00	9,00	8,00						
24					120	110	105	0,00	0,00	0,00						
25					122	111	105,5									
26																
27						105,8579										
28																
29	Casos	Var. E01	Var. E02	Var. E03	Oferta 1	Oferta 2	Oferta 3	E01	E02	E03	E01	E02	E03	E01	E02	E03
30	1	0,66	0,84	0,45	3060,57	3061,88	3096,79	934,18	1008,17	1118,22	1037,98	1108,99	914,91	1172,87	907,36	1016,56
31	2	0,58	0,48	0,97	3074,24	3081,94	3031,49	942,47	1031,05	1100,72	1047,19	1134,16	900,59	1102,89	927,95	1000,66
32	3	0,31	0,43	0,50	3130,24	3139,57	3111,01	979,23	1034,77	1116,24	1088,03	1138,25	913,29	1164,95	931,30	1014,76
33	4	0,08	0,10	0,03	3243,63	3256,72	3282,76	1030,51	1067,99	1145,14	1145,01	1174,78	936,93	1280,54	961,19	1041,03
34	5	0,40	0,33	0,44	3126,47	3134,57	3129,87	965,55	1042,20	1118,72	1072,84	1146,42	915,32	1174,88	937,98	1017,02
35	6	0,53	0,44	0,91	3084,37	3092,67	3041,79	948,62	1033,35	1102,40	1054,02	1136,69	901,96	1109,59	930,02	1002,18
36	7	0,27	0,49	0,31	3141,13	3149,40	3145,73	986,74	1030,24	1124,14	1096,38	1133,26	919,75	1196,57	927,22	1021,95
37	8	0,78	0,03	0,93	3106,62	3116,95	3085,35	920,74	1083,87	1102,01	1023,05	1192,26	901,64	1108,04	975,48	1001,83
38	9	0,72	0,48	0,30	3083,33	3084,95	3149,91	927,75	1030,67	1124,92	1030,83	1133,74	920,39	1199,66	927,60	1022,65
39	10	0,46	0,06	0,30	3158,66	3168,22	3189,20	958,29	1075,71	1124,66	1064,76	1183,28	920,18	1198,64	968,14	1022,42
40	11	0,67	0,01	0,69	3131,84	3142,71	3127,49	932,28	1090,10	1109,45	1035,87	1199,11	907,73	1137,81	981,09	1008,59

Las estrategias de financiación se pueden comparar mediante el estudio del valor actual neto, asumiendo una planificación real o incluso con una simulación simplificada, suponiendo que los capítulos se ejecutan secuencialmente y que tienen una duración fija o proporcional a su presupuesto.

Sin embargo, en el sistema de contratación y abono con medición abierta es necesario un análisis del riesgo que informe sobre el comportamiento de cada oferta en las situaciones reales más habituales durante la ejecución. Una de las herramientas más potentes es el análisis de Monte Carlo, que se basa en calcular una serie de casos, basados en variables de entrada aleatorias, pero con funciones de probabilidad bien determinadas.

Para la aplicación práctica del método supongamos un proyecto con tres unidades de obra, con la misma cantidad y precio (10 unidades monetarias), pero diferentes características de riesgo.

	Resumen	CanPres	Variación	Oferta 1	Oferta 2	Oferta 3
				3.000,00	**3.000,00**	**3.000,00**
E01	Excavación en terreno duro	100,00	20,00	9,00	10,00	11,00
E02	Tabiquería de ladrillo macizo	100,00	10,00	10,00	11,00	9,00
E03	Puntos de luz	100,00	5,00	11,00	9,00	10,00

Todos los valores se han seleccionado de manera que los resultados sean fácilmente comparables, pero la metodología es idéntica en un caso real con cualquier conjunto de valores.

De la misma forma, se han recibido tres ofertas, con precios unitarios diferentes en cada unidad de obra, pero de tal manera que los importes totales son idénticos, también a efectos de que se vea directamente el resultado del análisis.

Es un caso claro en el que es evidente la necesidad de una herramienta de comparación. Para ello, estimamos la máxima variación posible de la cantidad real cada unidad de obra en forma de porcentaje, que de acuerdo con lo habitual en la construcción es grande para el movimiento de tierras, menor en la tabiquería y muy reducida en los elementos singulares de instalaciones.

Elegimos una distribución de probabilidad triangular. En una gráfica con las cantidades en el eje de abscisas da lugar a un triángulo rectángulo de área unidad e hipotenusa decreciente, desde su máximo sobre la cantidad de referencia hasta el cero, al llegar a la variación máxima admitida. Es importante reseñar que la probabilidad de cada cantidad está representada por el área del triángulo que queda a su izquierda, no por la altura de la hipotenusa, que sería una distribución rectangular de probabilidades.

Es posible elegir cualquier otra función de probabilidad, incluyendo disminuciones de medición, distribuciones en campana de Gauss, simétricas o asimétricas, que implicarán sólo una mayor complejidad de las expresiones matemáticas. Sin embargo, hay que recordar que la precisión del método nunca será mayor que la de los datos de entrada, y un algoritmo complicado oscurece el proceso sin mejorar no mejora la precisión de los resultados.

La preparación de los casos de prueba es sencilla mediante una hoja de cálculo. Para asegurarse del cumplimiento de la función de probabilidad se calcula la probabilidad de una determinada medición y se despeja posteriormente la medición.

Puesto que el área del triángulo es la unidad, y aprovechando que el valor de la variación es directamente un porcentaje sobre CanPres, la expresión que dada una cantidad devuelve la probabilidad de que la medición real sea superior es:

Prob(Cantidad) = ((CanPres + Variación - Cantidad)/Variación)^2

Por ejemplo, la probabilidad de superar la cantidad que está justo en la mitad del rango de variación es:

Prob(CanPres + Variación / 2) = ((CanPres + Variación - CanPres - Variación / 2)/Variación)^2 = 0,25

Despejando ahora la cantidad, obtenemos:

Cantidad = CanPres + Variación - Variación * Prob (Cantidad)^0,5

La cantidad que tiene una probabilidad del 50% de ser superada es:

Cantidad = CanPres + Variación - Variación * 0,5^0,5 = CanPres + Variación * (1 - 0,5^0,5)

Que en la primera unidad de obra es:

Cantidad = 100 + 20 * (1 - 0,5^0,5) = 105,86

Para cada caso de prueba, se generan tres números aleatorios. Cada uno se aplica al cálculo de la medición de una de las tres unidades de obra, usando la expresión anterior. Esta medición se multiplica por el precio unitario de oferta de cada ofertante, obteniéndose el importe a satisfacer si este caso fuera el caso real en la obra.

		Oferta 1	Oferta 2	Oferta 3
E01	0,48	954,78	1060,87	1248,53
E02	0,67	1017,87	1119,65	916,08
E03	0,11	1137,13	930,38	1033,76
Importe		3109,78	3110,90	3198,37

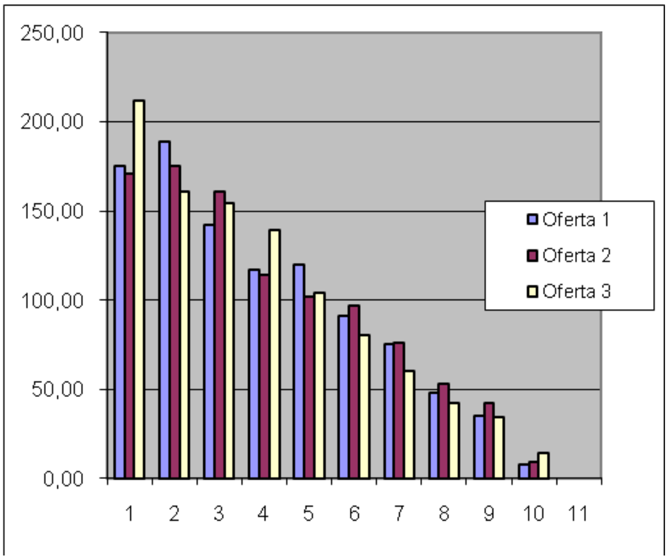
El carácter probabilístico del método de Monte Carlo exige aplicar este mismo sistema repetidas veces, mediante nuevos números aleatorios, y obtener la media. En el ejemplo se ha realizado mil veces.

N	E01	E02	E03	Oferta 1	Oferta 2	Oferta 3	E01	E02	E03	E01	E02	E03	E01	E02	E03
1	0,48	0,67	0,11	3109,78	3110,90	3198,37	954,78	1017,87	1137,13	1060,87	1119,65	930,38	1248,53	916,08	1033,76
2	0,00	0,41	0,75	3214,86	3236,16	3068,72	1071,41	1036,06	1107,39	1190,45	1139,67	906,05	1129,55	932,45	1006,72
3	0,41	0,06	0,51	3156,08	3167,98	3145,14	964,92	1075,43	1115,74	1072,13	1182,97	912,88	1162,95	967,89	1014,31
4	0,19	0,13	0,26	3193,27	3206,20	3189,34	1001,97	1064,57	1126,73	1113,30	1171,03	921,87	1206,92	958,12	1024,30
5	0,47	0,15	0,33	3141,24	3149,34	3170,65	956,76	1060,88	1123,60	1063,06	1166,97	919,31	1194,41	954,79	1021,46
6	0,24	0,89	0,73	3106,38	3115,78	3044,60	992,73	1005,59	1108,06	1103,04	1106,14	906,60	1132,24	905,03	1007,33

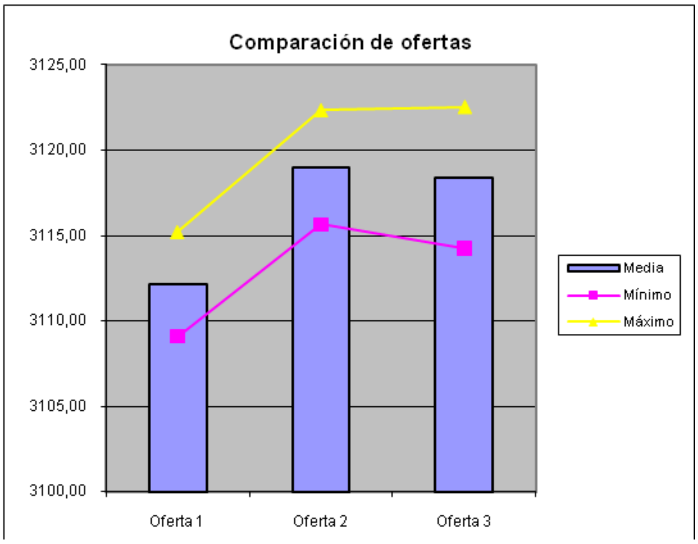
Es importante comprobar que se están cumpliendo las funciones de probabilidad deseadas. Para ello, se genera una serie de variaciones igualmente espaciadas entre la cantidad de referencia y el máximo, y se cuenta el número de casos en que la cantidad obtenida cae en cada rango.

N	Rango 1	Rango 2	Rango 3	Cuenta 1	Cuenta 2	Cuenta 3
0	100	100	100	187,00	193,00	198,00
1	102	101	100,5	182,00	154,00	169,00
2	104	102	101	159,00	138,00	151,00
3	106	103	101,5	128,00	140,00	116,00
4	108	104	102	97,00	121,00	105,00
5	110	105	102,5	91,00	95,00	92,00
6	112	106	103	75,00	82,00	73,00
7	114	107	103,5	40,00	35,00	50,00
8	116	108	104	33,00	37,00	34,00
9	118	109	104,5	8,00	5,00	12,00
10	120	110	105	0,00	0,00	0,00

La gráfica muestra visualmente la función triangular.



Para cada ofertante se obtiene ahora el promedio de los importes. Cada generación de nuevos números aleatorios da lugar a distintos promedios, cuya variación se refleja visualmente en una gráfica. Tras una serie de iteraciones se comprueba que es la primera oferta la que da lugar a un menor coste de la obra. Este resultado, en este caso concreto, era previsible a partir de los datos, puesto que propone un precio unitario menor para la unidad de obra con mayor riesgo de aumento. Sin embargo, en un proyecto real sería muy difícil identificar este comportamiento a simple vista. Las otras dos ofertas están más próximas, con una cierta ventaja de la segunda.



Puesto que la muestra es evidentemente un subconjunto reducido de la población ilimitada de casos posibles, es conveniente calcular el intervalo de confianza que garantice una seguridad del 95 % de que la media obtenida es representativa.

	Oferta 1	Oferta 2	Oferta 3
Media	3112,57	3119,11	3123,70
Desviación estándar	49,57	54,11	67,22
Desviación estándar (%)	1,59%	1,73%	2,15%
Intervalo de confianza 95 % (+/-)	3,07	3,35	4,17
Mínimo	3.109,50	3.115,75	3.119,53
Máximo	3.115,64	3.122,46	3.127,87

Este intervalo, sumado y restado al promedio, proporciona un margen de variación de cada oferta. Si la diferencia entre dos ofertas es menor que el intervalo de confianza no se puede tener la seguridad de que existe una ventaja real de una sobre la otra. Este margen de variación se ha representado también en la gráfica.

El mismo método se puede aplicar con otras variantes y desde el punto de vista de otros agentes de la edificación.

Por ejemplo, el contratista puede realizar un análisis de márgenes. Partiendo de las mediciones del presupuesto y aplicando el precio de oferta y el de coste estimado puede obtener directamente el margen esperado. Sin embargo, para conocer el impacto de las variaciones de las mediciones puede aplicar un análisis de Monte Carlo, generando presupuestos de coste y venta con los mismos precios unitarios y calculando el margen promedio para un elevado número de casos. De la misma forma, puede realizar el ejercicio de comparación de ofertas desde su punto de vista, aplicándolo a diferentes combinaciones de precios hasta encontrar la más ventajosa.

De la misma forma, se puede aplicar el método para analizar el comportamiento de una posible oferta ante variaciones futuras de precios.

El método de Monte Carlo, aunque poco conocido en la construcción, no es un sistema excesivamente complicado, dadas las herramientas informáticas actuales. Sin embargo, debe estar basado en unos datos que el responsable del presupuesto, o el constructor, puedan determinar con facilidad y a partir de su experiencia, como es el sencillo sistema de proponer un topa máximo a la variación, con función triangular de probabilidad, que se ha expuesto en este trabajo.