

Cálculo de la Incerteza del Tonelaje en un Modelo de Isoley mediante Simulación Secuencial Gaussiana

Caso de estudio

Joled Nur

Principal Geostatician

SRK Consulting (Chile) S.A.

Primeros pasos

La gran pregunta



¿Qué es lo que concretamente hacemos en geoestadística con el modelo geológico?

Modelo Geológico

Respuesta:

Estimación de leyes separando por unidades:

- Litológicas
- Alteraciones
- Zonas Minerales
- Capas
- Niveles
- Isoleyes
- Etc.

Modelo Geológico

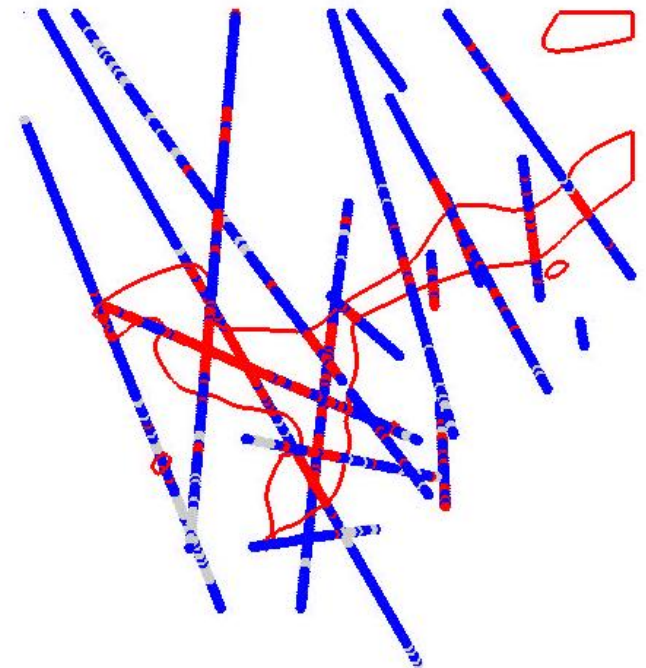
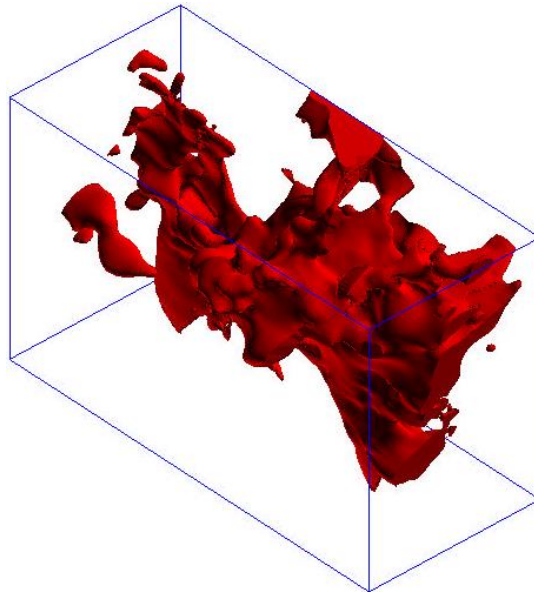
¿Por qué se hacen las separaciones en la estimación?

- No estimar unidades de leyes diferentes
- Unidades con diferentes orientaciones
- Separar lastre del mineral
- Separación de vetas
- Evitar el suavizamiento en la estimación
(No sobrestimar las leyes bajas
ni subestimar las leyes altas)

Caso de Estudio: Modelo Isoley

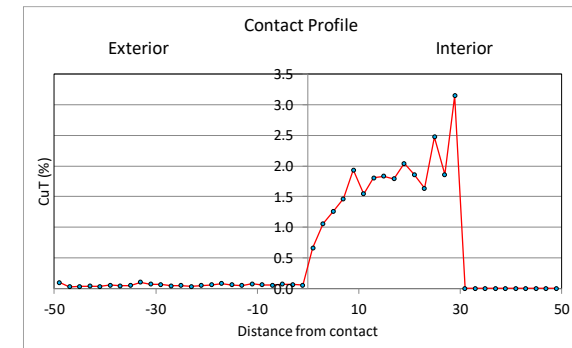
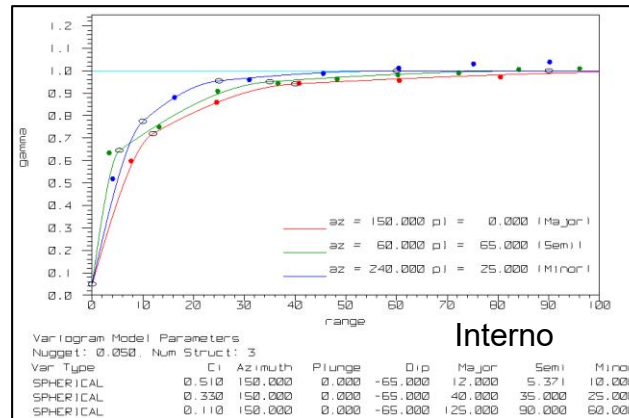
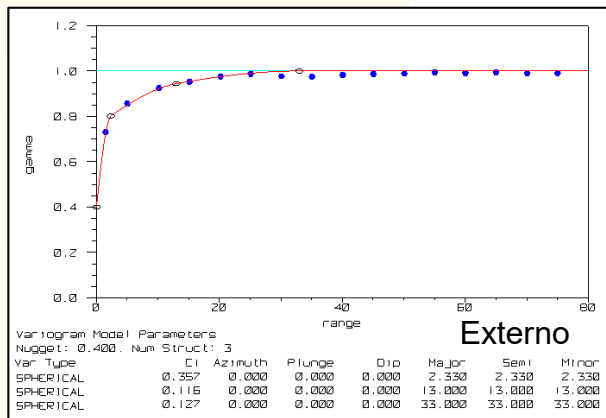
Veamos un Ejemplo Práctico de una Isoley:

- Modelo de isoley con corte en 0.2% CuT



Estimación

Estimación al interior y exterior de una envolvente de Isoley en forma independiente

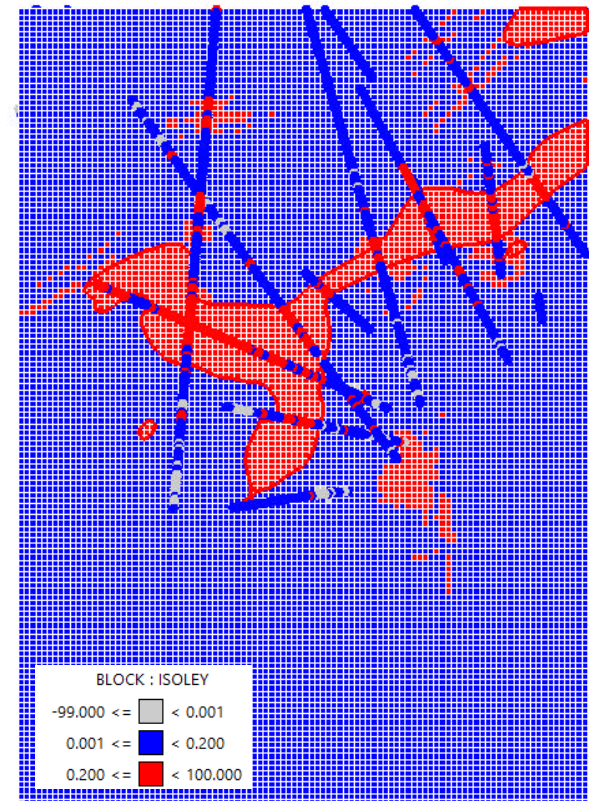
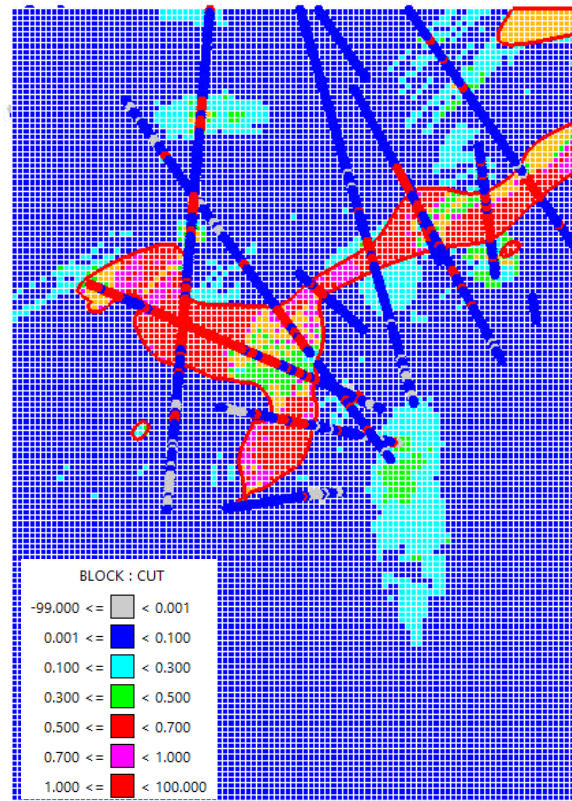


- Variogramas Independientes
- Análisis de Contacto
- Plan de Estimación Independientes
- Validaciones Independientes

Resultado Estimación

Estimación al interior y exterior de una envolvente de Isoley

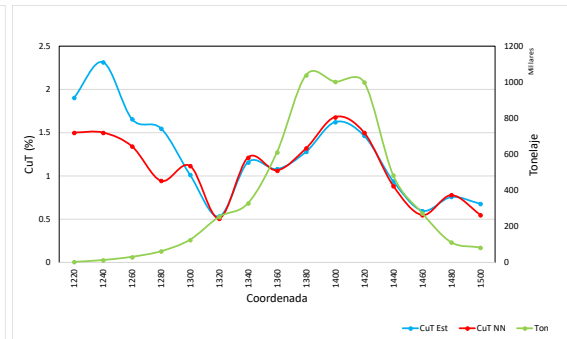
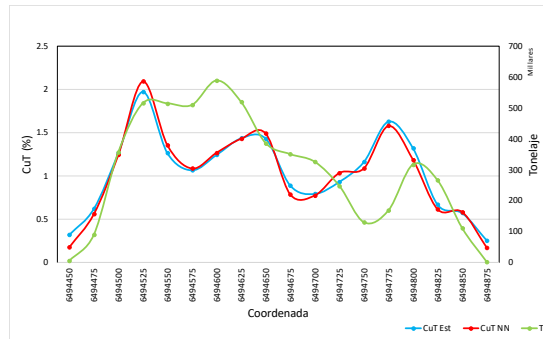
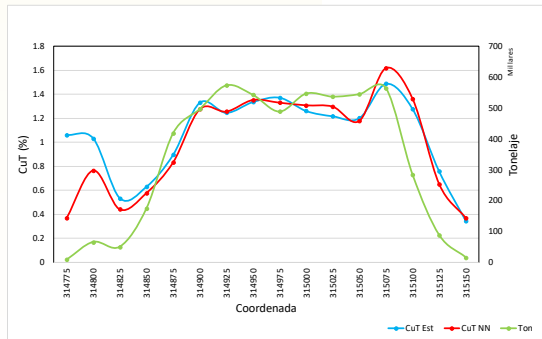
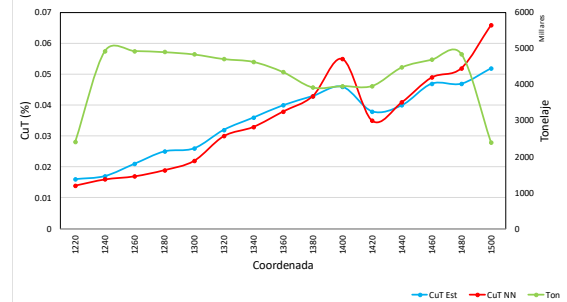
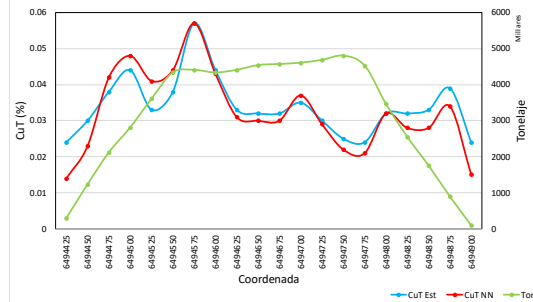
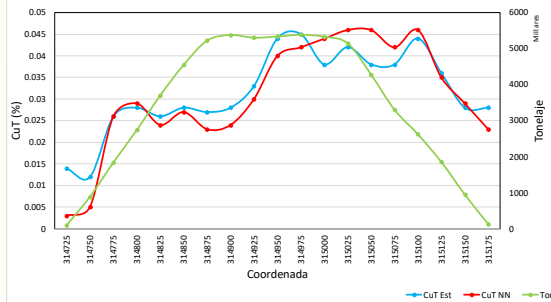
¿Qué podemos apreciar en la estimación?



Resultados Estimación

Validaciones
Sesgo Global
Derivas
Sesgo Condicional, etc.

UGCAJA	Pasada	CUT_Est	CUT_NN	Δ error	Ton	CUT_Est	CUT_NN	Ton
Exterior	1	0.049	0.049	-1.4	16,892,431	0.035	0.035	64,060,027
	2	0.038	0.041	-7.2	23,625,929			
	3	0.024	0.019	29.0	16,032,384			
	4	0.017	0.016	2.7	7,509,283			
Interior	1	1.377	1.420	-3.0	3,761,294	1.228	1.238	5,397,235
	2	0.932	0.867	7.5	1,342,354			
	3	0.654	0.590	10.9	282,744			
	4	1.255	0.873	43.7	10,843			



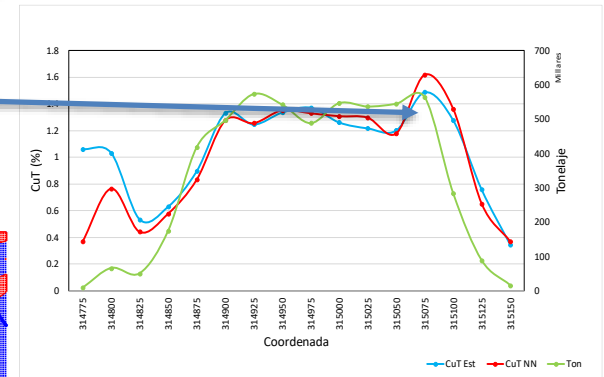
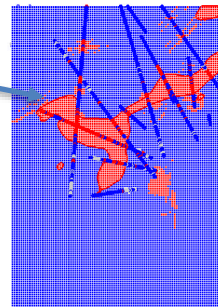
Resultados Estimación



UGCAJA	Pasada	CUT_Est	CUT_NN	Δ error	Ton
Exterior	1	0.049	0.049	-1.4	16,89
	2	0.038	0.041	-7.2	23,62
	3	0.024	0.019	29.0	16,03
	4	0.017	0.016	2.7	7,50
Interior	1	1.377	1.420	-3.0	3,76
	2	0.932	0.867	7.5	1,34
	3	0.654	0.590	10.9	28,75
	4	1.255	0.873	43.7	1,34

Problemas de la Estimación:

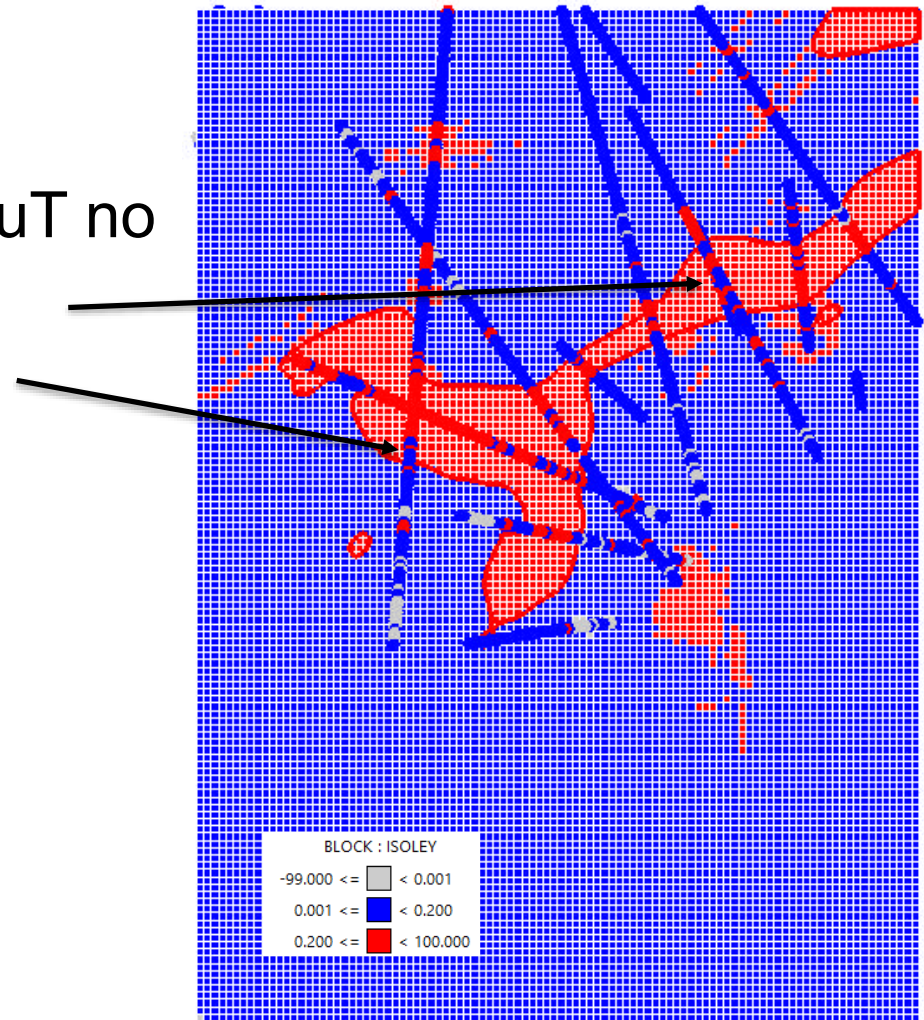
- A medida que los bloques se alejan de los datos, aumenta el error
- Suavizamiento (sesgo condicional)
- Se respeta con rigurosidad el modelo geológico



Resultados Estimación

Las leyes bajo 0.2% de CuT no quedan representadas al interior de la envolvente

Pero, ¿por qué sucede esto?



Resultados Estimación

Debido al **Sesgo Condicional** que produce la estimación.



Resultados Estimación

¿Qué podemos hacer para evitar el Sesgo Condicional?



Resultados Estimación

Nada, desde el punto de vista de Estimación



A pesar de que el KO es insesgado globalmente produce Sesgo Condicional siempre

Simulación

Pero existe una herramienta que nos ayudará a darnos un intervalo o un rango de error



Esas son la
Simulaciones

Simulación

Para el ejemplo de estudio se verá:

- Como varía el tonelaje al interior de la envolvente
- Como varía el fino al interior de la envolvente
- Como varía la envolvente en el entorno del yacimiento

Simulación

Y ¿Cómo lo hacemos?

Simulación



Simulación

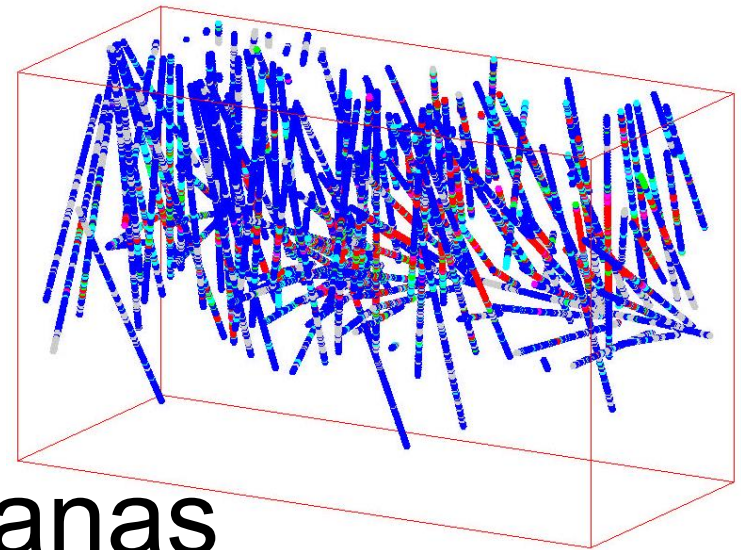
Se tendrá como supuesto:

- El CuT se tomará como si fuese como variable estacionaria para el modelo completo

- Se realizan 100

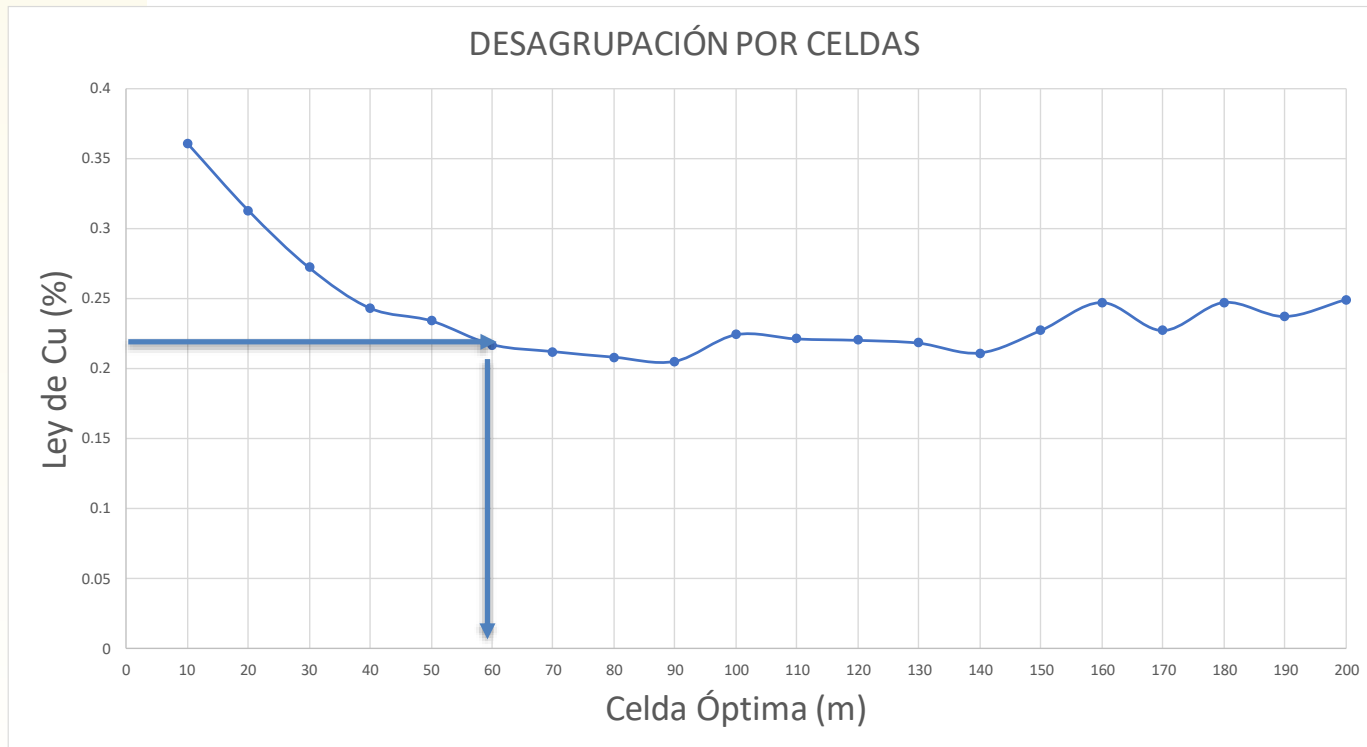
Simulaciones

Secuenciales Gaussianas



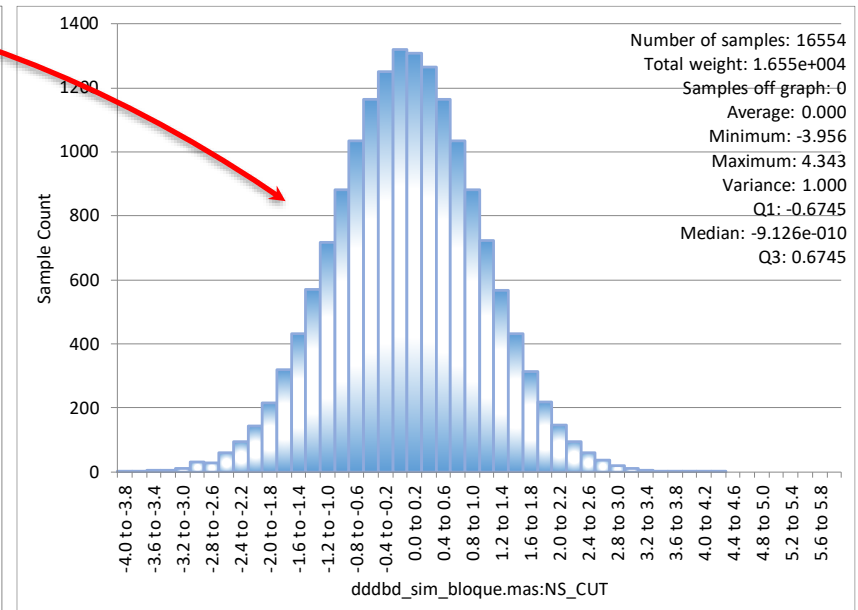
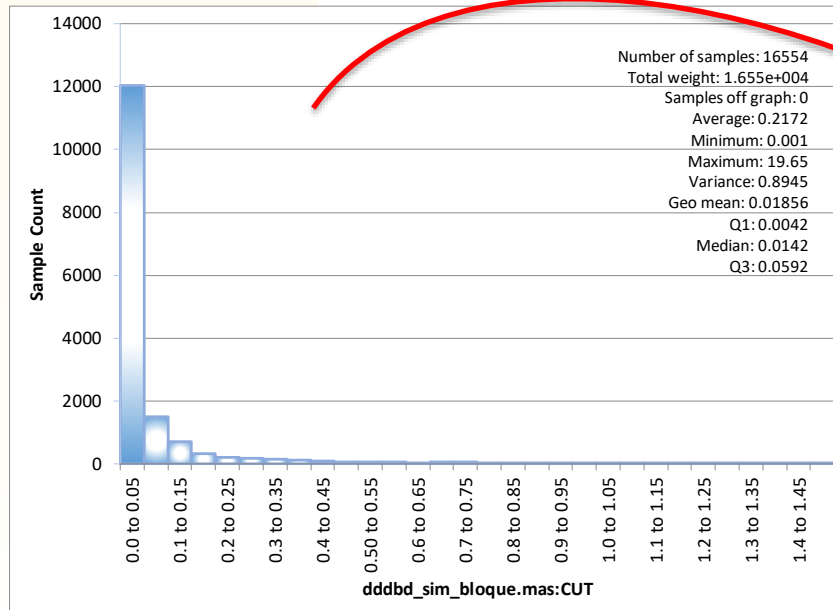
Simulación, primeros pasos

Desagrupación de las Muestras



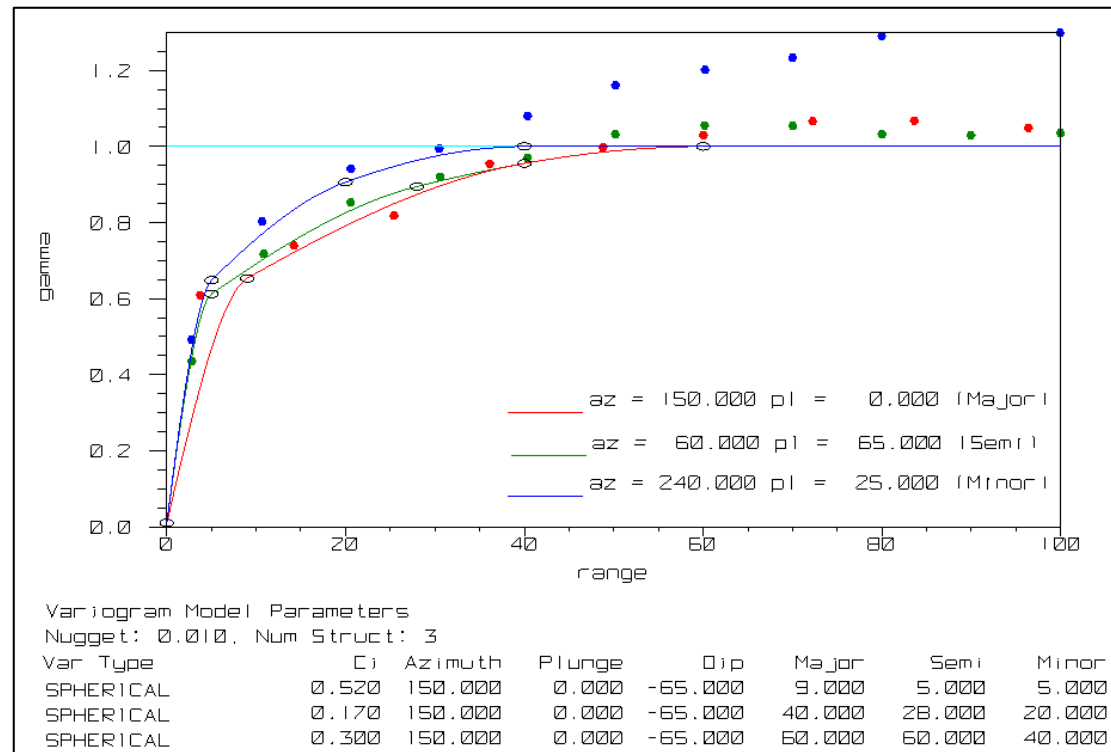
Simulación, primeros pasos

Pasar los compósitos a valores gaussianos o normales



Simulación, primeros pasos

Crear Variogramas de los datos Gaussianos



Simulación

Realizar la Simulación

- Se usan los datos gaussianos
- Se simulan 100 variables
- Se utiliza la Simulación Secuencial Gaussiana (SSG)
- Se asignaron datos a los nodos
- La dirección del elipsoide es $B=150^\circ$, $P=0^\circ$, $D=-65^\circ$
- Radios de la elipsoide de 60x50x25m
- Min muestras 8, máximo 20
- Uso de 16 bloque pre-simulados
- Dejar los datos simulados en gaussiano

Simulación

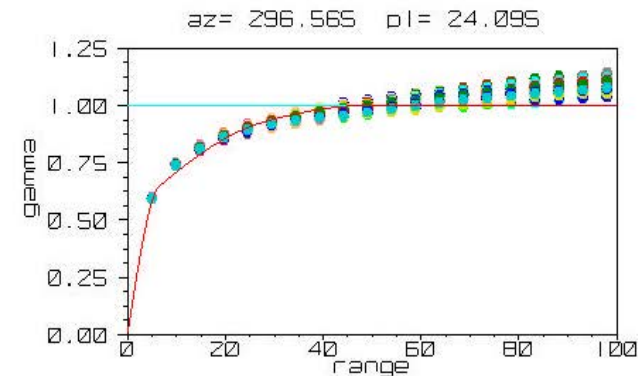
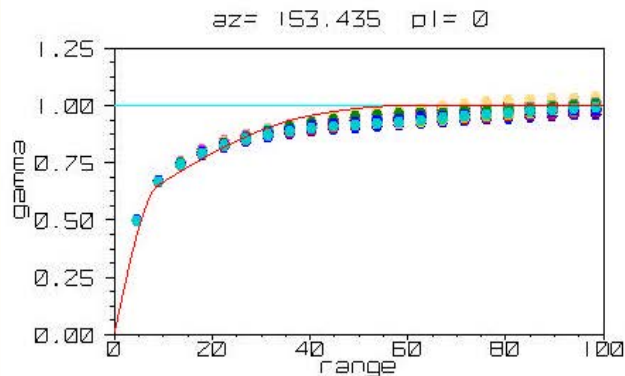
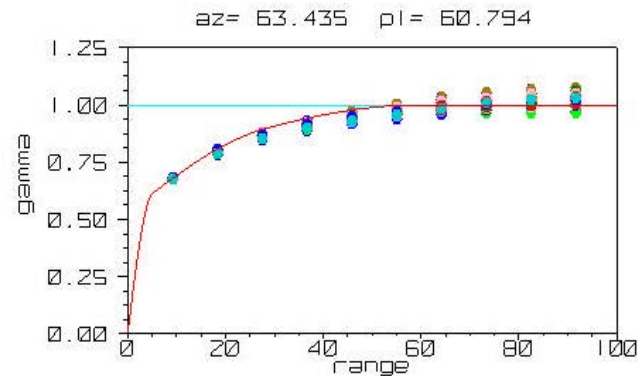
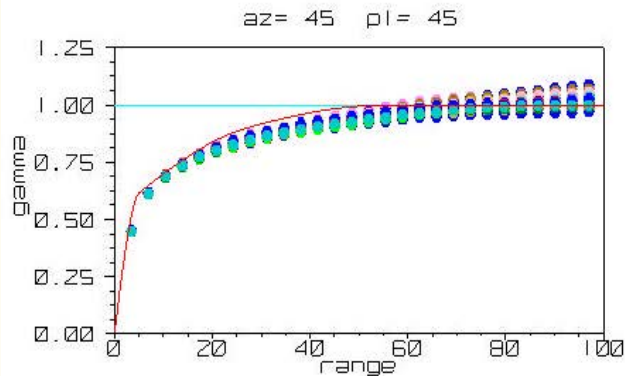
En la Simulación Secuencial Gaussiana

Los bloques simulados están condicionados a los datos



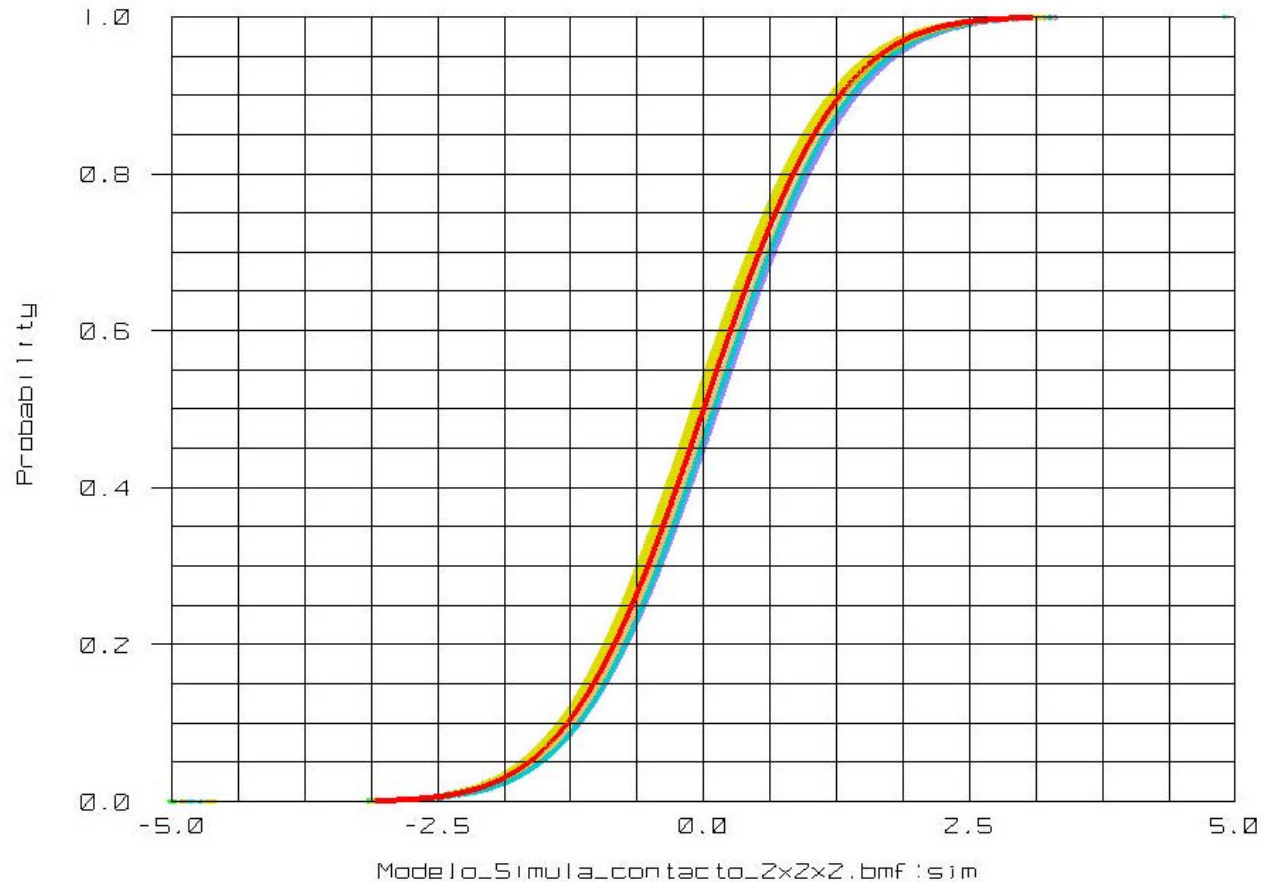
Simulación

Corroborar el Variograma Gaussiano



Simulación

Corroborar el Histograma Gaussiano



Simulación

Volver a realizar la Simulación

- Una vez corroborado el Variograma Gaussiano
- Una vez corroborado el Histograma Gaussiano
- Volver a correr la simulación, pero ahora se dejan las leyes en % de CuT

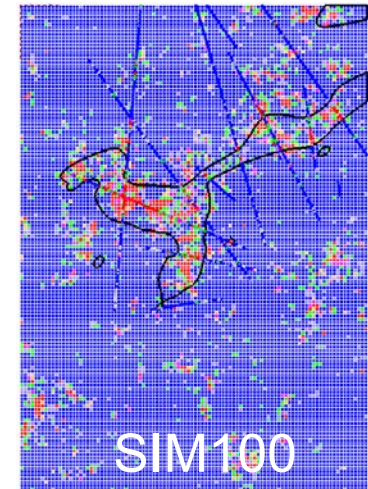
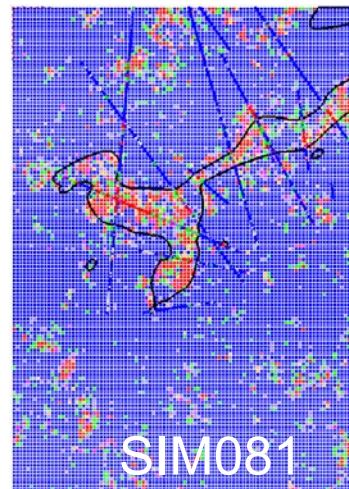
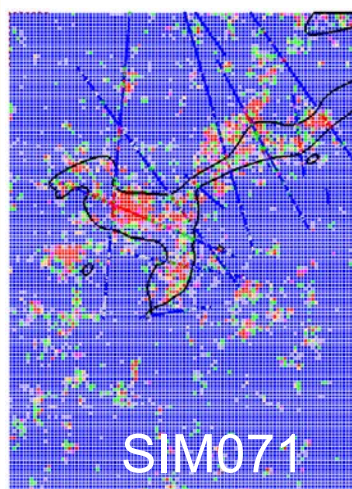
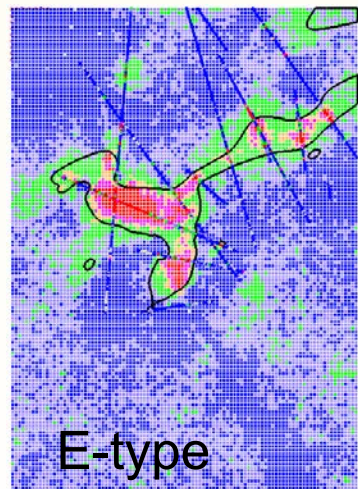
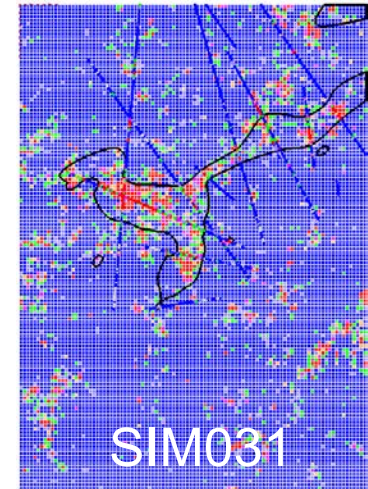
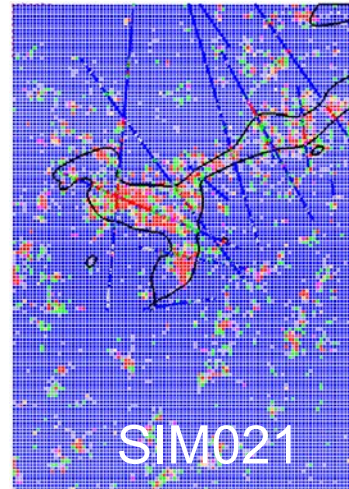
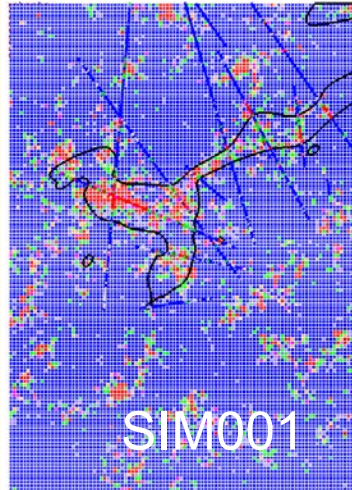
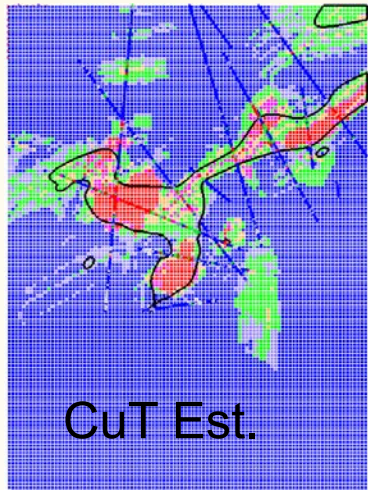
Simulación

Post-Simulación

- Promedio de las leyes simuladas
- Probabilidad de que el bloque tenga una ley mayor o igual a 0.2% CuT
- Varianza entre las leyes simuladas
- entre otros

Simulaciones

Visualización



Simulaciones

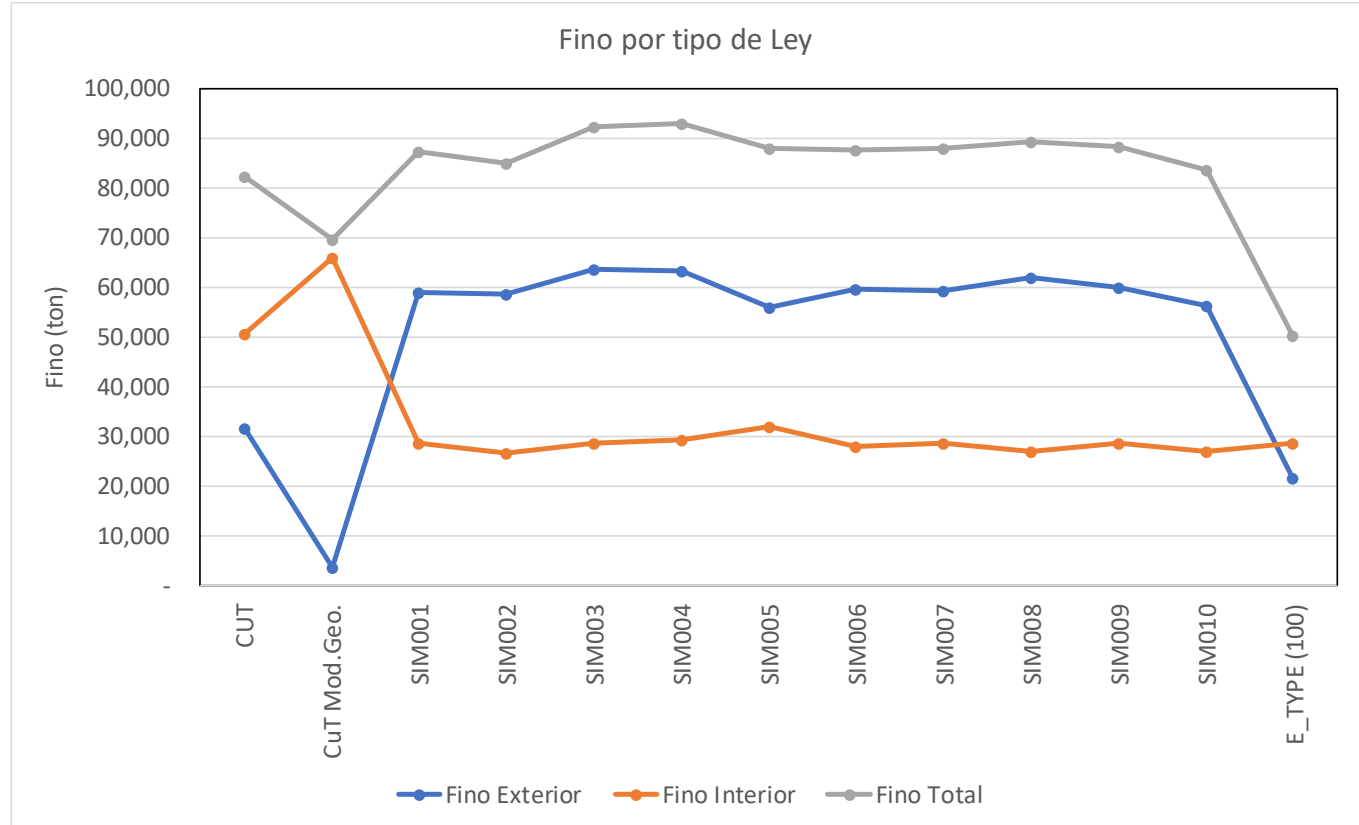
Análisis de Resultados

Tipo	Ley		Fino		
	Exterior	Interior	Fino	Interior	Total
CUT	0.080	0.960	51,019	51,815	102,834
CuT Mod.Geo.	0.035	1.228	22,247	66,291	88,538
SIM001	0.115	0.560	73,319	30,226	103,545
SIM002	0.115	0.523	73,403	28,202	101,605
SIM003	0.123	0.563	78,487	30,385	108,872
SIM004	0.122	0.578	78,288	31,173	109,460
SIM005	0.110	0.624	70,544	33,680	104,223
SIM006	0.116	0.551	74,151	29,725	103,876
SIM007	0.116	0.560	74,071	30,219	104,290
SIM008	0.120	0.534	76,674	28,826	105,500
SIM009	0.116	0.561	74,303	30,259	104,562
SIM010	0.111	0.534	70,838	28,823	99,661
E_TYPE (100)	0.117	0.553	74,919	29,847	104,766
Ton	63,993,499	5,397,235			

Simulaciones

Análisis de Resultados

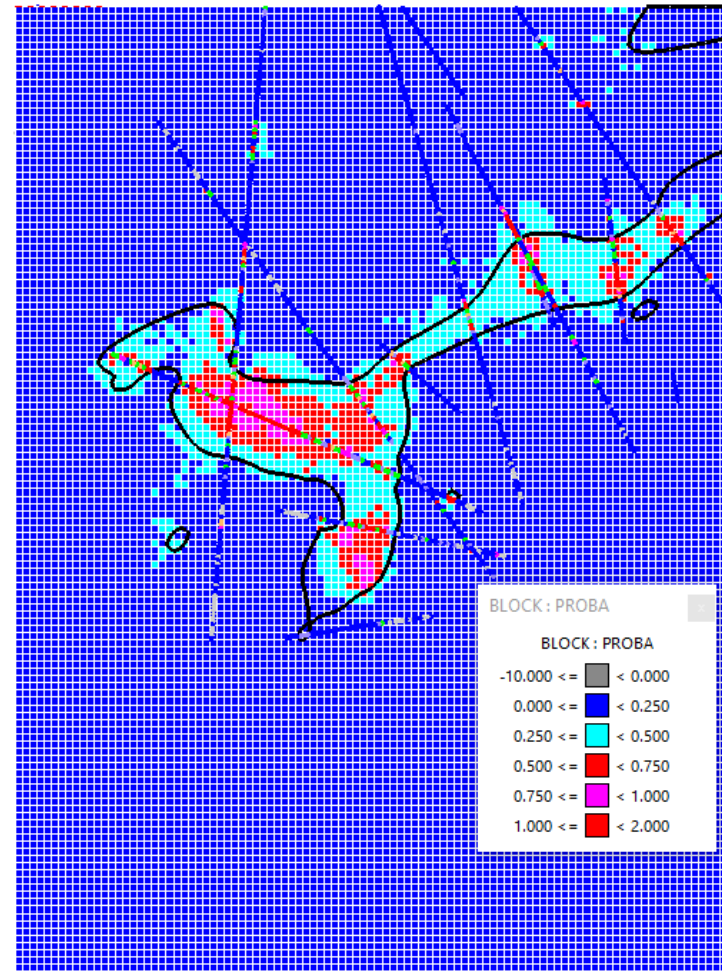
Tipo	Fino Exterior	Fino Interior	Fino Total
CUT	31,620	50,620	82,240
CuT Mod.Geo.	3,511	66,043	69,554
SIM001	58,818	28,492	87,310
SIM002	58,554	26,459	85,012
SIM003	63,572	28,642	92,214
SIM004	63,374	29,435	92,809
SIM005	55,911	31,977	87,888
SIM006	59,646	27,977	87,622
SIM007	59,350	28,493	87,843
SIM008	62,107	27,112	89,220
SIM009	59,799	28,524	88,323
SIM010	56,422	27,079	83,501
E_TYPE (100)	21,484	28,697	50,181



Simulaciones

Análisis de Resultados

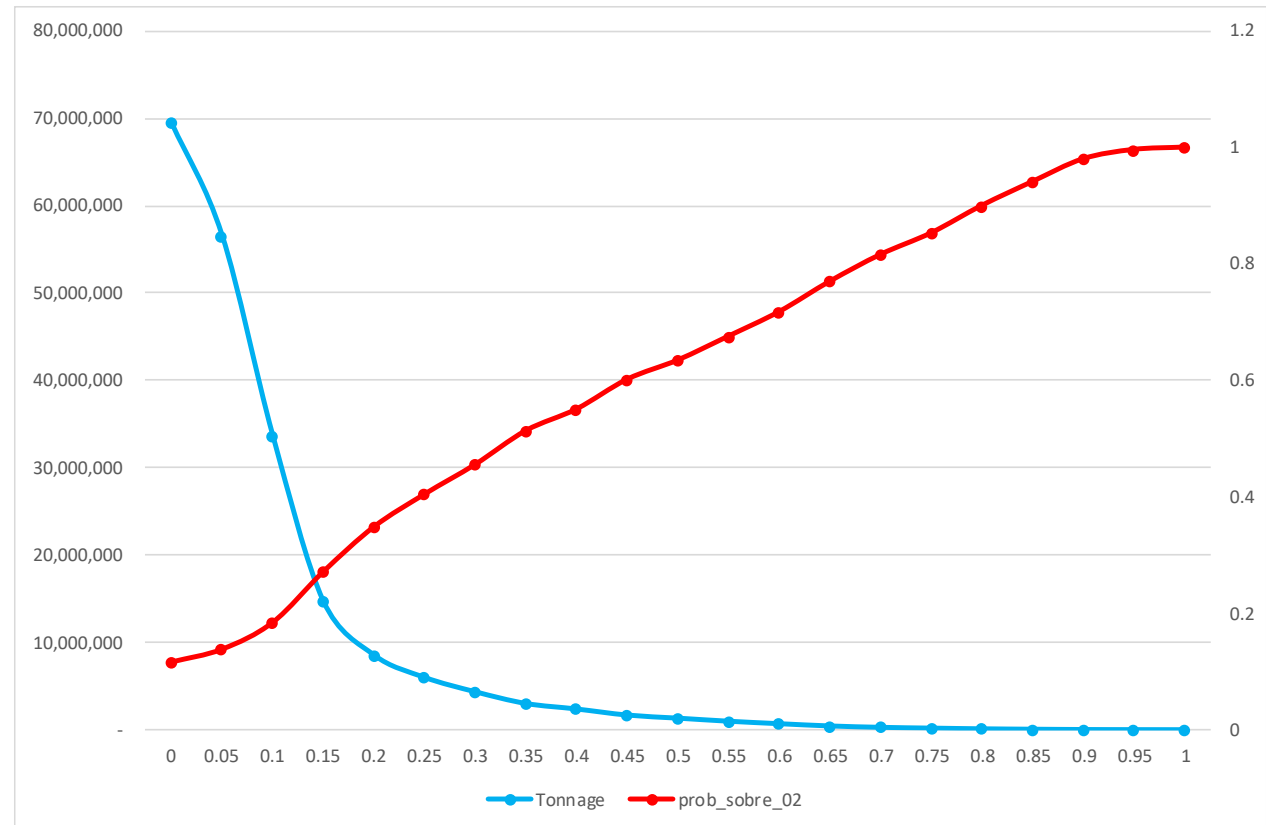
Tomando en consideración la probabilidad de que el bloque tenga una ley mayor o igual a 0.2% CuT



Simulaciones

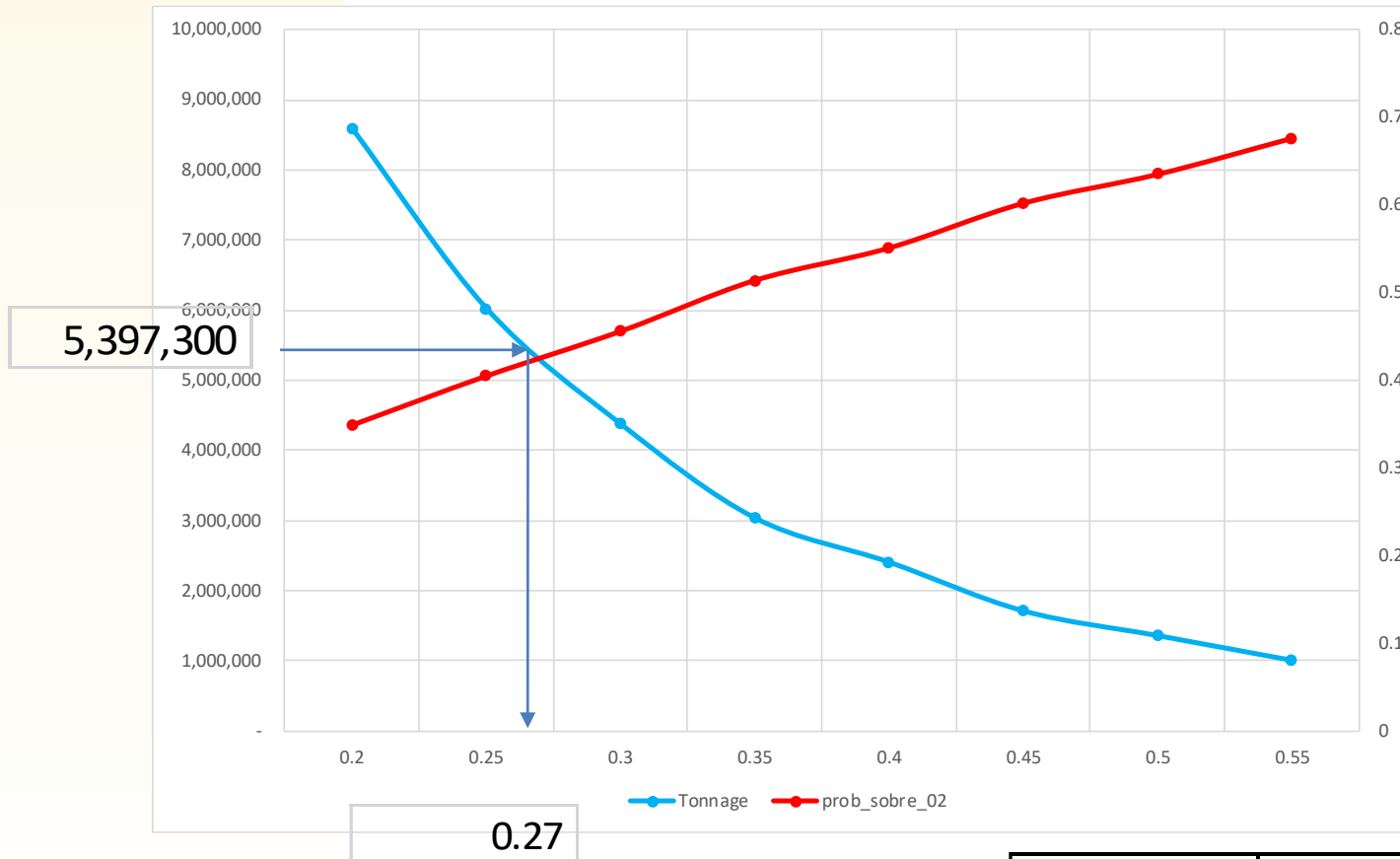
Análisis de Resultados

Cutoff	prob_sobre_02	Tonnage
0	0.117	69,459,444
0.05	0.139	56,584,418
0.1	0.185	33,737,472
0.15	0.272	14,755,802
0.2	0.349	8,580,341
0.25	0.405	6,020,395
0.3	0.456	4,375,361
0.35	0.514	3,036,593
0.4	0.551	2,405,959
0.45	0.602	1,711,930
0.5	0.635	1,359,482
0.55	0.676	1,008,180
0.6	0.718	725,609
0.65	0.77	467,575
0.7	0.816	310,435
0.75	0.853	220,234
0.8	0.9	142,668
0.85	0.941	94,694
0.9	0.98	60,977
0.95	0.996	46,418
1	1	39,550



Simulaciones

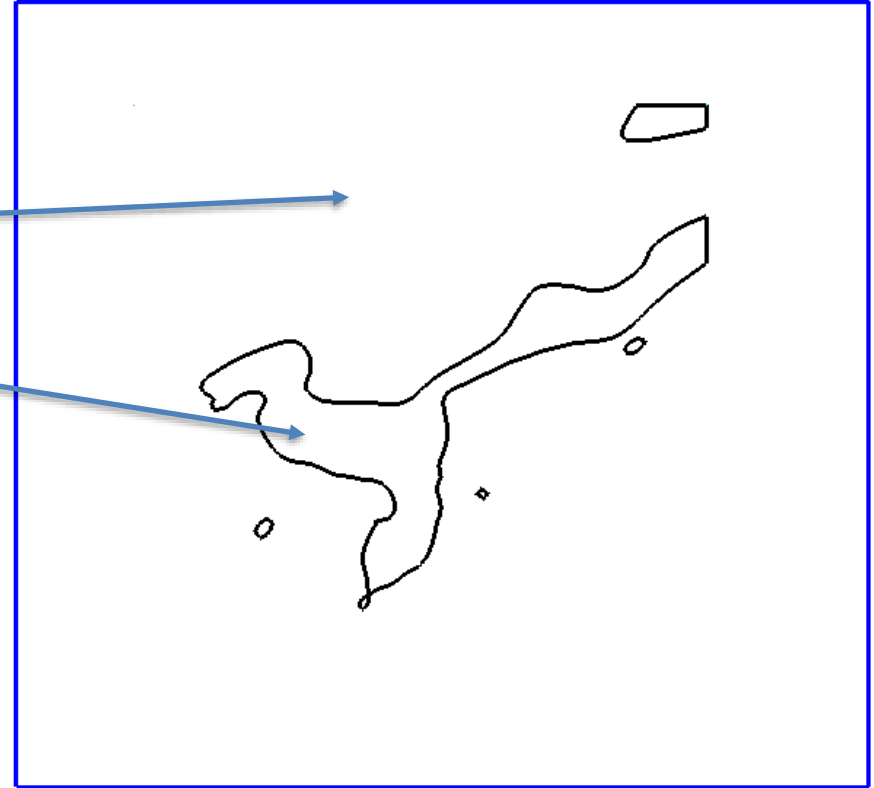
Análisis de Resultados



0.5	0.635	1,359,482
0.35	0.514	3,036,593

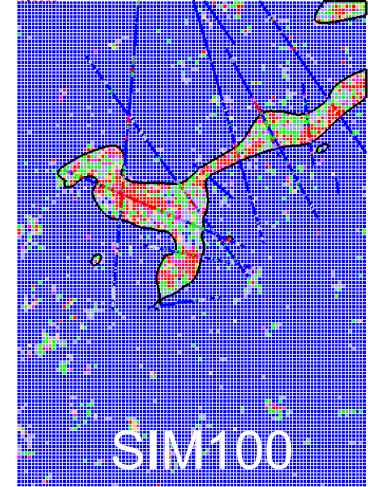
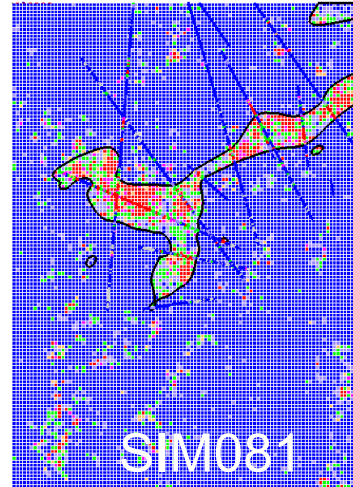
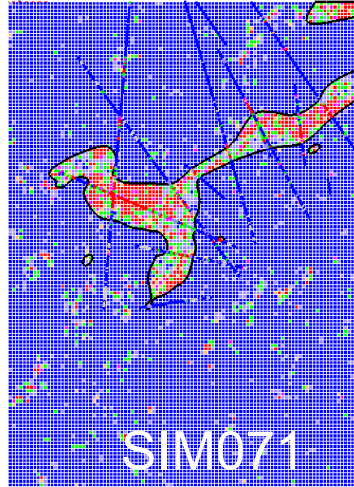
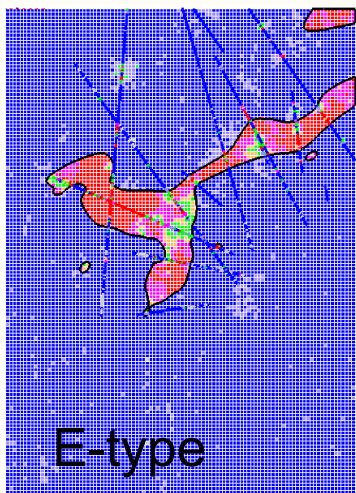
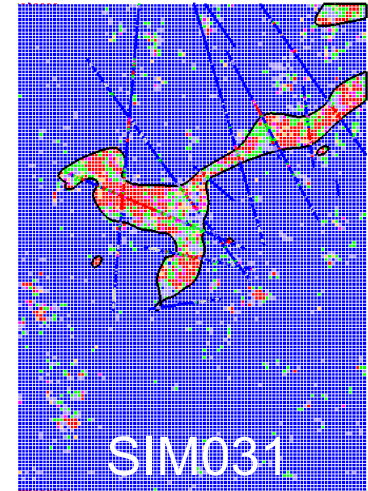
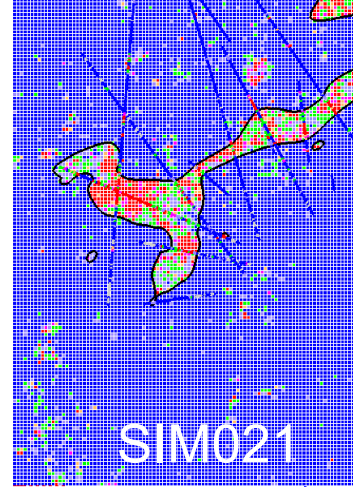
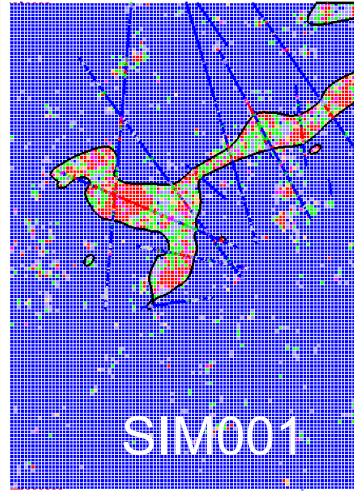
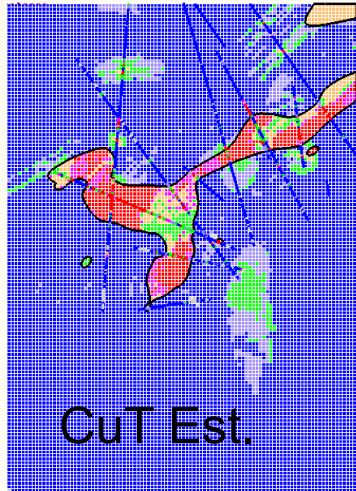
Simulaciones

Del mismo modo ahora
se realiza la simulación
con fronteras duras



Simulaciones

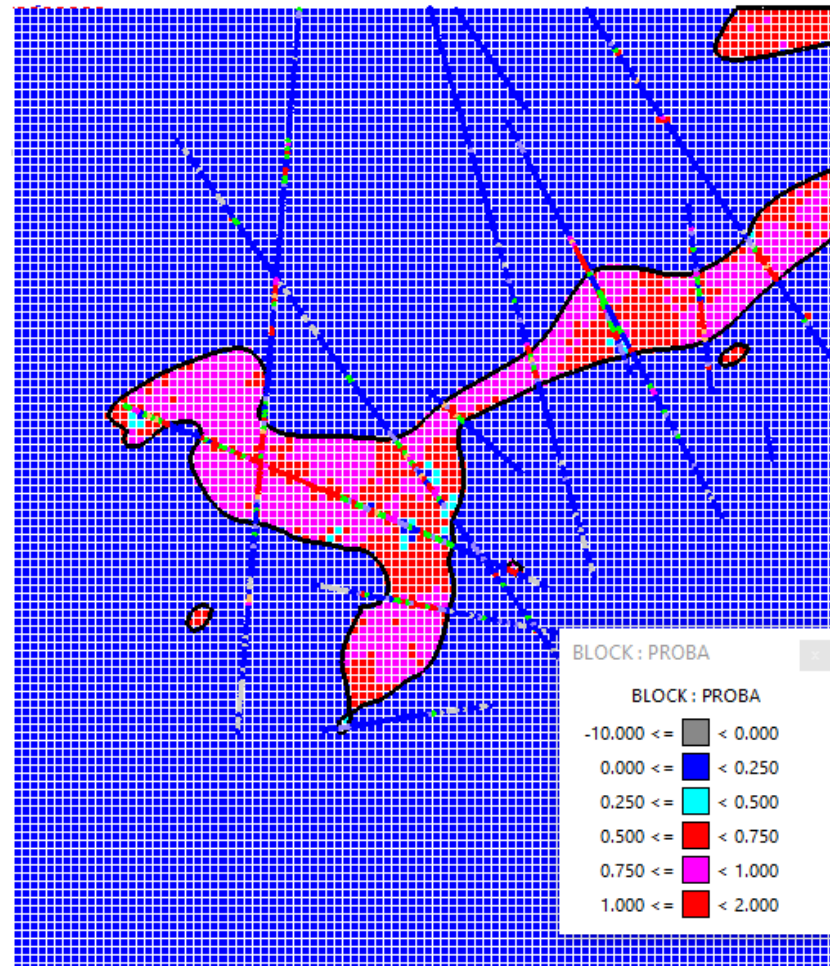
Visualización con fronteras duras



Simulaciones

Análisis de Resultados

Del mismo modo ahora se toma en consideración la probabilidad de que el bloque tenga una ley mayor o igual a 0.2% CuT con dominios definidos



Simulaciones

Análisis de Resultados

Tipo	Ley		Fino		
	Exterior	Interior	Fino	Interior	Total
CUT	0.080	0.960	51,014	51,815	102,829
CuT Mod.Geo.	0.035	1.228	22,247	66,291	88,538
SIM001	0.049	1.017	31,146	54,887	86,033
SIM002	0.048	1.005	30,427	54,221	84,648
SIM003	0.045	1.007	28,567	54,356	82,923
SIM004	0.047	0.944	30,260	50,947	81,208
SIM005	0.046	1.000	29,680	53,971	83,651
SIM006	0.049	0.994	31,386	53,673	85,060
SIM007	0.045	0.964	28,539	52,010	80,550
SIM008	0.048	0.941	30,895	50,766	81,661
SIM009	0.048	1.011	30,633	54,564	85,197
SIM010	0.045	1.039	28,540	56,090	84,630
E_TYPE (100)	0.046	0.987	29,660	53,260	82,920
Ton	64,006,006	5,397,235			

Se mejoran los resultados al interior de la envolvente, pero de todos modos el fino de las simulaciones al interior de la envolvente es inferior al fino entregado por las simulaciones

Simulaciones

Análisis de Resultados

Se mejoran los resultados al interior de la envolvente, pero de todos modos el fino de las simulaciones al interior de la envolvente es inferior al fino entregado por las simulaciones



¿Por qué es menor el fino en las simulaciones?

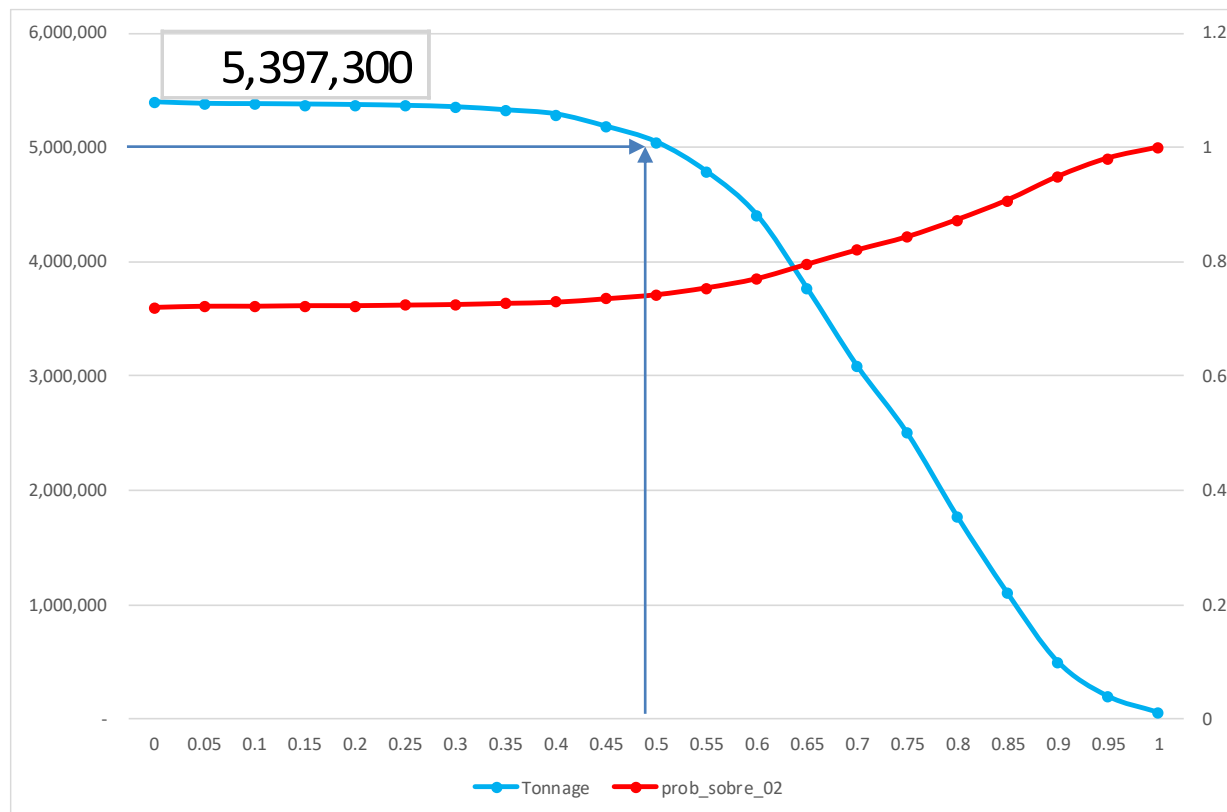
- Debido al lastre interno que la simulación intenta de reproducir de mejor forma que la estimación

Simulaciones

Análisis de Resultados

CTL Interior Env.

Cutoff	prob_sobre_02	Tonnage	%
0	0.721	5,397,300	100.0
0.05	0.723	5,383,476	99.7
0.1	0.723	5,381,078	99.7
0.15	0.724	5,377,774	99.6
0.2	0.724	5,373,194	99.6
0.25	0.725	5,366,023	99.4
0.3	0.726	5,353,970	99.2
0.35	0.728	5,327,186	98.7
0.4	0.73	5,291,827	98.0
0.45	0.736	5,183,914	96.0
0.5	0.743	5,048,158	93.5
0.55	0.755	4,789,994	88.7
0.6	0.771	4,412,189	81.7
0.65	0.796	3,772,462	69.9
0.7	0.821	3,091,306	57.3
0.75	0.844	2,502,490	46.4
0.8	0.874	1,771,394	32.8
0.85	0.908	1,102,205	20.4
0.9	0.949	502,718	9.3
0.95	0.981	199,390	3.7
1	1	58,234	1.1



0.5	0.743	5,048,158	93.5
-----	-------	-----------	------

Conclusiones

- Al no poner restricciones en la simulación, la variabilidad del modelo de Isoley aumenta considerablemente.
- El modelo simulado con límite duro, obviamente disminuye la variabilidad del tonelaje.
- Por lo anterior, la “mano” del geólogo de modelamiento se hace muy importante, debido a que la estimación está limitada a su modelo geológico. No se obtiene nada con hacer excelente estimación si el modelo geológico está incorrecto.

¿Consultas?



Gracias!