

# METODOLOGÍAS DE VALIDACIÓN PARA MODELOS DE RECURSOS

**John Estaño Arisaca**  
MineSight Applications Perú S.A.C.  
[john.estano@minesightapps.pe](mailto:john.estano@minesightapps.pe)

## Resumen.

Los principales activos de una empresa minera, además de su equipo humano, son sus RECURSOS y sus RESERVAS.

Unos RECURSOS mal estimados pueden llevar a una empresa a la ruina.

**Objetivo:** conocer metodologías que ayuden a validar la Estimación de Recursos minerales.

En este trabajo se cubren los importantes pasos de un proceso de validación del Modelo de Recursos para asegurar la calidad de los resultados de una Estimación de Recursos.

Cubriremos el tema de validación visual, validación puntual, validación geoestadística analizando sesgos globales y locales, validación mediante Simulación Condicional Secuencial Gaussiana y finalmente el proceso de Reconciliación.

Asumiremos que existe y es satisfactorio el proceso de QA/QC para los análisis geoquímicos y para el almacenamiento de la data de los sondeos.

En síntesis, cubriremos los procesos de: Revisión, Análisis Geoestadístico y Validación.

En el **proceso de Revisión**, empezamos por revisar la representatividad del modelo geológico comparado con la data usada.

Comprobaremos la anisotropía con la orientación del elipsoide de búsqueda.

En el proceso de **Análisis Geoestadístico**, trabajaremos con estadística detallada del mineral económico analizado: histogramas; gráficos de probabilidad acumulada; Boxplots; variografía; efecto de suavizamiento de leyes y corrección de volumen varianza; curvas tonelaje-ley; análisis mediante Swatplots para la determinación de sesgo global y, verificación de sesgo local en el punto muestreado; análisis comparativo con la Simulación secuencial condicional gaussiana y determinación del riesgo de leyes sobre la ley de corte.

En el proceso de **Validación** revisaremos:

Correlación y error en estimación; gráficos de distribución entre Ley real y ley estimada, sesgos zonales asociados a la interpolación; grado de incertidumbre en la ley estimada; en la reconciliación compararemos el Modelo de Largo Plazo con data de sondeos de voladura.

Esta metodología puede ser aplicada a todo tipo de yacimiento mineral.

El resultado de estos procesos, nos indicará el grado de confianza de nuestra Estimación de Recursos.

## Revisión de datos

Algunos de los procesos de revisión de datos que mencionaremos en este trabajo técnico, deben realizarse antes de ejecutar la interpolación de leyes y otros estudios deben hacerse posterior a la interpolación.

## **Tipos de Procesos de revisión de Datos**

Entre los tipos de revisión de datos que debemos realizar se encuentran:

- Visual : mapas, curvas de ley, etc..
- Estadístico: gráficos, estadísticas etc..
- Otros: Reconciliación, reportes antiguos, etc.

Dentro de la validación visual tenemos:

- Revisar el Modelo Geológico contra los taladros y los sólidos construidos.
- Revisar las secciones y vistas del modelo con los taladros.
- Revisar la dirección de búsqueda. Ejecutar una corrida de verificación y luego sobre poner el elipsoide sobre el modelo.
- Revisar mapas de contorno y las curvas de ley del Modelo.

Al revisar el Modelo Geológico, considerar antes de la interpolación lo siguiente:

- Revisar códigos de Taladros (DDH) versus los códigos del modelo y asegurarse de que coincidan.
- Preguntarse: ¿hace sentido la interpretación geológica? Recordar que la persona que hace la Estimación de Recursos no necesariamente ha hecho o revisado la interpretación geológica.
- Observar si existen espacios o sobre posiciones en los polígonos y/o sólidos.
- Preguntarse: ¿Necesito considerar bordes suaves durante la interpolación en lugar de bordes duros?
- Revisar si hay cambios en valor de leyes entre contactos en relación a la distancia del contacto.

Considerar, luego de la interpolación lo siguiente:

- Mapear los bloques del modelo y los taladros.
- Usar polígonos en 2d sin mostrar las caras pero si mostrar las líneas de tal manera que sea un modelo transparente de ser requerido.
- Usar el mismo color para ítem del taladro y también ítem del modelo de bloques.

- Añadir cintas de borde a los taladros para una mejor visualización del taladro.
- Revise las vistas de planta banco por banco.
- Use los mismos colores y misma etiqueta por ley que se muestra.
- Revisar si las leyes siguen la orientación de la búsqueda.
- Si el software que usted usa lo permite, dibuje la elipse sobre la vista de planta.
- Compare los contornos de los compósitos versus los contornos del modelo. ¿Se ven similares o diferentes? Realice esta comparación banco por banco.
- Haga un sólido por ley de corte y traslape los sólidos de alta ley. ¿Se sobreponen cerca de los compósitos de alta ley? O ¿dejamos de usar algunas áreas de compósitos de alta ley?

Dentro de la validación estadística del modelo y de los compósitos tenemos:

- Realizar histogramas del modelo, curvas tonelaje ley, Ploteo probabilístico, SwathPlots (Gráfico que resulta de la comparación de valores promedio dentro de un espacio limitado).
- Si el software que usted usa lo permite, dibuje la elipse sobre la vista de planta.
- Compare los contornos de los compósitos versus los contornos del modelo. ¿Se ven similares o diferentes? Realice esta comparación banco por banco.
- Haga un sólido por ley de corte y traslape los sólidos de alta ley. ¿Se sobreponen cerca de los compósitos de alta ley? O ¿hemos dejado de usar algunas áreas de compósitos de alta ley?
- Revisar estadísticas de compósito desagrupado (declustered) o estadísticas poligonales vs el modelo.
- Use curvas tonelaje-ley para comparar.
- Revise gráficos de dispersión (scatterplots) y probabilísticos

Complementar las revisiones anteriormente mencionadas comparando el modelo geológico antes y después de la interpolación.

### Antes de la interpolación:

- Interpolación por tipo de roca usando el vecino más cercano (poligonal).
- Compare con la interpretación geológica. ¿Obtenemos el mismo porcentaje de tipo de roca o aproximadamente el mismo?
- Antes de la interpolación,
  - ¿Ha usado % en múltiples zonas?
  - Revise la codificación de % de mineral (Ore%)
  - Calcule estadísticas (total de bloques dentro de los sólidos) en la variable ore% en el modelo. ¿Concuerda con los sólidos del volumen?
- Revise las curvas CPP de los compósitos. Dependiendo de la curva, puede ser necesario restringir ciertos valores o aumentar su influencia.
- El del Mapa vario gráfico de Contorno, ¿coincide con los contornos de leyes de los compósitos? Use la misma orientación en la interpolación.

### Después de la interpolación, Validación Global:

- Si hay diferentes dominios o tipos de roca, compare las leyes promedio de los compósitos con el modelo por tipo de roca a una ley de corte 0 para asegurarse de que no se introduce un sesgo.
- Compare las estadísticas de rocas a partir del modelo a las estadísticas de los taladros por código. Por ejemplo pueden usar una gráfica Box Plot.
- Compare estadísticas del modelo con tres diferentes métodos de interpolación: IDW, Kriging y Poligonal. ¿Qué tan cerca están las estadísticas del Poligonal usando Kriging o IDW?
- Compare curvas tonelaje – ley con la poligonal. ¿Qué tan cercanas son? ¿Qué pasa con los valores atípicos?

- Usemos SwathPlots para mostrar la distribución de leyes en una serie de bandas (Swaths).
- Usualmente son generadas en 3 direcciones ortogonales a lo largo del depósito.
- Variaciones de ley en el modelo son comparadas con el modelo de vecino más cercano (NN).
- Modelo de NN no proporciona estimaciones confiables a nivel local, globalmente representa una estimación imparcial de la ley media (declustered).
- Si el modelo es imparcial, las tendencias de ley deben ser similares a la distribución de leyes en NN.
- El mostrar tonelaje no es necesario, pero es útil para ver de donde vienen la mayor cantidad de toneladas y si hay una tendencia.
- También es útil para ver, por ejemplo, si hay gran diferencia entre la poligonal y kriging, etc, pero si está sucediendo en donde no hay mucho tonelaje, puede pasar por alto esa variabilidad.

¿Por qué necesitamos estadísticas de elementos desagrupados (declustered)?  
¿Por qué necesitamos la distribución NN (poligonal) al igual que los compósitos desagrupados (declustered)?

Vea cómo, si hay agrupación en el área de alta ley, entonces la media calculada es sobre estimada.

Usted podría desagrupar (decluster) los compósitos y a continuación elegir el tamaño de celda que minimiza la media si la desagrupación (declustering) se ha producido en la zona de alta ley. Luego compare ley promedio desagrupada (declustered) contra ley promedio del bloque.

Calcule la media y otras estadísticas de los compósitos desagrupados. Usted quiere que las estadísticas del modelo coincidan con esas estadísticas, no con las estadísticas agrupadas.

La distribución Poligonal representa la distribución de compósitos desagrupados (declustered).

Para una comparación adicional, puede convertir el modelo a bloques del tamaño SMU ( SelectiveMiningUnit) y luego compararlas con el modelo de bloques.

Si los compósitos están desagrupados, puede también convertir la distribución de los compósitos al tamaño del SMU.

¿Por qué? Una media  $> 0$  aun con diferentes tamaños de bloque. La media y el tonelaje mayores que el cutoff son diferentes para diferentes tamaños de bloque.

Si usted va a opinar sobre la media y el tonelaje arriba del cutoff 0, antes debe comparar contra la distribución ajustada de los compósitos de tal manera que ésta tenga la misma estructura que el SMU o a la distribución ajustada poligonal.

#### **Cambio de Soporte:**

Analice que ocurre cuando se realiza la corrección volumen varianza con el cambio de soporte, podemos usar una corrección Lognormal, Discreto Gaussiano o por Polinomios de Hermite.

Compare la estimación con la distribución ajustada de los compósitos.

#### **Validación Local:**

Localmente debemos revisar si el bloque interpolado que pasa por un compósito refleja el valor de ley analizado.

Sobreponga los valores de los bloques a los compósitos.

Identifique aquellos bloques que interceptan a un compósito. Grafique con un ploteo probabilístico o scatter.

Revise el scatterplot. La correlación es cercana a 1.

Revise el ploteo probabilístico. ¿Cómo se ven los altos erráticos?

#### **Validación de Puntos:**

Este tipo de validación la podemos hacer antes y después de la interpolación. Estima un dato puntual usando un plan de interpolación.

Solo se usan los datos periféricos al punto a estimar y no se considera ese punto en la estimación. Se usa para chequear que tan preciso puede resultar el proceso de estimación.

Revisar correlación y error en estimación

Revisar gráficos de distribución entre Actual y Estimado

Relación de varianza de Kriging con error en promedio Ponderado

La validación puntual puede sugerir mejoras. Se usa para comparar no para determinar parámetros. Revela debilidades.

Recuerde que las conclusiones se basan en observaciones de errores en ubicaciones donde no necesitamos estimados. Sacamos aquellos valores que vamos a usar de tal manera que los resultados son más conservadores.

Igualmente se pueden validar los variogramas y ver cuál de todos es el que dará un estimado de leyes más cercano a la realidad.

Se debe verificar el comportamiento de la interpolación con los diferentes escenarios de la simulación condicional secuencial gaussiana para determinar posibles sesgos en el depósito.

#### **Reconciliación:**

Por reconciliación entendemos el comparar los resultados de interpolar los datos de los barrenos de voladura en un modelo de Corto Plazo, versus el Modelo de Recursos de Largo Plazo y determinar por qué razón, si la hubiere, el Modelo de Largo Plazo (exploraciones) no reconcilia bien con el modelo de Corto Plazo (Barrenos de Voladura).

Es bueno considerar diferentes comparaciones como: comparar estadísticas, Curvas Ton/ley, PPlots etc.

Al cambiar parámetros de búsqueda, ¿se acercan las estadísticas?

Realice validación puntual usando los taladros de voladura y vea que tan cercanos están los resultados comparados con los taladros de exploración.

En general, el estimador debe investigar las razones por las que el Modelo de Largo Plazo no reconcilia con el modelo de los barrenos de voladura.

Finalmente, si existiese un reporte de Estimación de Recursos anterior, o un Modelo Estimado anterior, compare y encuentre la explicación a las posibles diferencias. La explicación podría deberse a mas datos de perforaciones, nueva topografía, nueva interpretación geológica etc.

Una vez completado lo anterior, volver a empezar con los nuevos barrenos que vayan haciéndose.

En conclusión, mientras no se agote la mina, este es un proceso reiterativo.

#### Referencias:

"Grade Estimation and Its Precision in Mineral Resources: The Jackknife Approach"

1. Adisoma G.S., Hester, M.G. 1996  
Mining Engineering Vol. 48, No.2, pp 84-88

"The volume-Variance Relationship: A Useful Tool for Mine Planning"

2. Parker, H.M., 1980.  
Geostatistics (Mousset-Jones, P.,ed.),  
McGraw Hill, New York.

"Effects of Search Parameters on Kriged Reserve Estimates,"

3. Arik, A., 1990.  
International Journal of Mining and Geological Engineering, Vol 8, No. 12, pp. 305-318.

"Global Estimation Variance: Formulas and Calculation,"

4. Crozel, D., David, M., 1985.  
Mathematical Geology, Vol. 17 No. 8, pp 785-796.

Conditional Simulation for Recoverable Reserve Estimation,

5. Dagdelen, K., Verly, G., Coskum, B., 1997.  
SME Annual Meeting, Preprint #97-201.

Performance Analysis of Different Estimation Methods on Conditionally Simulated Deposits,

6. Arik, A., 2000.  
SME Annual Meeting. Salt Lake City, Utah.  
Preprint 00-088.

Confidence Interval Estimation for Mineable Reserves.

7. Davis, B.M., 1992.  
SME Annual Meeting, Preprint #92-39.

"Conditional Estimation Variances: An Empirical Approach,"

8. Froidevaux, R., 1984.  
Mathematical Geology, Vol. 16, No. 4, pp 327-350.

Applied Geostatistics.

9. Isaaks, E.H., Srivastaba, R.M, 1989.  
New York, Oxford University Press.

"Dealing with Outlier High Grade Data in Precious Metals Deposits,"

10. Journel, A.G., Arik, A., 1988  
Proceedings, Computer Applications in the Mineral Industry, Balkema Rotterdam, pp. 161-171.

"Applied Statistics in Mineral Exploration,"

11. Mercks, J.W., 1997  
Mining Engineering, Vol. 49, No 2, pp 78-82.