

Comentarios al artículo *Modelos geoestadísticos de la concentración del Ni en el dominio 7 del yacimiento Punta Gorda*, publicado en *Minería y Geología*, Volumen 20 (1-2) :42-53, 2004

José Q. CUADOR-GIL¹ cuador@info.upr.edu.cu

Resumen

En la última década se han logrado resultados importantes en el empleo de los métodos geoestadísticos en la solución de problemas geológico-mineros, particularmente en la estimación de recursos en yacimientos lateríticos cubanos. Su uso implica por una parte dominar conceptos fundamentales como: el cálculo y ajuste de semivariogramas, la estimación por krigeaje y la simulación geoestadística y por otra es necesario realizar una adecuada interpretación del procesamiento en cada momento que depende de la experiencia de los especialistas en el tema. Este artículo expone algunos comentarios al artículo de referencia: Modelos geoestadísticos de la concentración del Ni en el dominio 7 del yacimiento Punta Gorda, relacionados con la simulación geoestadística.

Comments on paper *Geostatistical models of the Ni concentration in Domain 7 of Punta Gorda Ore Body*, published in *Minería & Geología*, Volume 20 (1-2) :42-53, 2004

Abstract

In the last decade important results have been achieved with the usage of geostatistical methods for the solution of geologic and mining problems, particularly in the estimate process of resources in Cuban lateritic deposits. Their uses imply on the one hand, to master fundamental concepts such as: the semivariogram calculation and adjustment, the kriging estimate and the geostatistical simulation, on the other hand, it is necessary to carry out a suitable processing interpretation in each moment, which depends on the experience of specialists on the subject. In this paper, some comments are presented on the article *Geostatistical models of the nickel concentration in the domain 7 of Punta Gorda deposit* with regard to the geostatistical simulation.

COMENTARIOS

Georges Matheron (1930-2000) concibió las principales ideas de la Geoestadística Lineal entre 1954 y 1963 apoyado en los trabajos de Krige, Sichel y Wijs, pioneros en la aplicación de la estadística en minas de oro de Witwatersrand, África del Sur (Matheron y Kleingeld, 1987). Posteriormente dejó definida lo que hoy se conoce como Geoestadística con su Tesis de Doctor de Estado "*Les Variables Régionalisées et leur Estimation*", publicada por la Editorial Masson, París, 1965. En este libro aparece, como califica Alfaro Sironvalle (con. esc., 2000), "toda la Geoestadística, no hay más que decir". Desde entonces se ha desarrollado cómo ciencia aplicada que da respuesta a necesidades prácticas y concretas, fundamentalmente en el campo geológico-minero, ha tenido además, amplia difusión en las diferentes áreas de las geociencias, donde se han realizado importantes aportes por otros autores. Krigeaje es el nombre del estimador que propone la geoestadística, el cual tiene diferentes variantes de aplicación en correspondencia con diversos grupos de problemas que existen en la práctica.

En el artículo de referencia (Legrá *et al.*, 2004) se plantea "Algunos autores, entre ellos Cuador Gil (2002), han abandonado la idea de usar este estimador y han empleado en su lugar la Simulación Condicional, que además de ser más compleja desde el punto de vista matemático, es menos comprensible y su eficacia como estimador no está probada."

Es posible que en el momento de escribir el artículo sus autores no hayan comprendido bien la idea que se propuso en Cuador Gil (2002) a través de la simulación geoestadística. Podemos referir a modo de aclaración que nunca se ha pretendido abandonar el krigeaje como estimador, sino proponer procedimientos conjuntos de estimación y simulación para la definición de redes racionales de exploración y una nueva forma para obtener la masa volumétrica, apoyándose en un conjunto de datos que pueden sustituir la siempre desconocida realidad.

Esto último sólo es posible en términos de simulación, es decir, una realización con iguales características de dispersión que los datos reales. La eficacia tanto de la estimación como de la simulación han sido probadas por diversos autores, entre los que destacan: Matheron (1965), David (1977), Journel y Huijbregts (1978), Armstrong y Carignan (1997), Deutsch y Journel (1998), Lantuéjoul (1997), entre otros.

El tratamiento matemático de la simulación geoestadística no es mucho más complejo que el de la estimación, quien se interese por su conocimiento matemático y algorítmico puede lograrlo en poco tiempo con los contenidos tradicionales de cálculo y álgebra de los cursos de ingeniería. Mucho más compleja puede resultar la interpretación del análisis de los resultados que implica su uso, tanto como diversa es la distribución o comportamiento espacial que puede encontrarse en la naturaleza.

Resultaría oportuno recordar, brevemente, la esencia de la estimación y la simulación geoestadística. Por un lado la **Estimación** tiene como objetivo proporcionar, en cada localización a estimar, un valor $Z^*(x)$ lo más próximo posible al valor real y desconocido $Z(x)$ del fenómeno estudiado, lo que se hace en función de las características de variabilidad y correlación espacial de la variable en estudio, y haciendo mínimo el error de estimación $Z^*(x) - Z(x)$. La estimación no reproduce la dispersión de los datos reales, más bien subestima en general esta dispersión (Journel, 1974).

Por otra parte, la **Simulación Geoestadística**, reproduce los dos primeros momentos experimentales (media y covarianza o semivariograma) de los datos reales, así como el histograma, es decir, se reproducen las principales características de dispersión del fenómeno real de acuerdo con la información disponible. De esta forma se pueden reproducir realizaciones de las variables estudiadas con iguales características que la realidad, la que puede ser considerada

también como una realización, pero desconocida, sólo detallada en las localizaciones medidas. Es importante aclarar que en cada localización, el valor simulado $Z_s(x)$ no es el mejor estimador que se puede obtener de $Z(x)$, ahora, en cada localización, el promedio de un conjunto grande de simulaciones tiende al valor estimado y la desviación estándar a la varianza de estimación. Así, el promedio de muchas simulaciones en el interior de un volumen es equivalente al estimado por krigeaje. Al respecto se puede profundizar en Journel y Huijbregts (1978), Deutsch y Journel (1998) y Lantuéjoul (1997), entre otros.

Teniendo en cuenta lo anterior, la estimación se utiliza, en el caso minero, para la estimación de recursos, y la simulación, para reproducir realizaciones de una variable con diversos fines, como se plantea en Martínez–Vargas y Ramírez–García (2005) "... la simulación se conoce en todo el dominio, por lo que puede ser empleada para cálculos empíricos". A lo que se debe agregar que al experimentar sobre una simulación se obtienen los mismos resultados que con las diferentes simulaciones sobre el mismo fenómeno en estudio, esto se debe a que todas son realizaciones con iguales características de variabilidad y correlación espacial que los datos originales. Lo anterior nos permite asegurar que se obtendrían también los mismos resultados que se lograrían si se contara con los datos reales.

Otro elemento que plantea Legrá *et al.* (2004) es, "La variable $\sigma^2(x_i)$ expresa la varianza de estimación por kriging al calcular $Z^*(x_i)$. Hay que hacer notar que en la bibliografía citada (Cuador Gil, 2002) la notación usada es ambigua, ya que debió emplearse $\sigma(x_i)$ ". En esta parte la palabra "ambigua" pudo, en un buen sentido, haber sido sustituida, o simplemente no escrita y dejar la expresión "debió emplearse". Cualquier conocedor de la geoestadística o persona que consulte los libros o la literatura mencionada podrá percatarse de que se trata de la varianza de estimación.

Pudiera ser de utilidad, sin embargo, referirse a algunos aspectos que ayudarían a la escritura de artículos, en idioma español, relacionados con el tema de la Geoestadística, como puede ser: emplear el término krigeaje o krigeado, en lugar de el inglés *kriging* o el francés *krigeage*, la palabra *lag* que proviene del inglés y aunque se hace común en el vocabulario geoestadístico debe traducirse como incremento o paso, mientras las palabras inglesas *range* y *sill* deben ser traducidas como alcance y meseta, respectivamente.

Ideas como las que se exponen en los trabajos de Legrá (Legrá *et al.*, 2004; Legrá, 2003) pueden ser novedosas e interesantes en investigaciones teóricas con posibilidades de aplicación, pero existe otro conjunto de problemas de carácter práctico que sería muy útil localizarlo y proponer soluciones con el concurso de todos, como pudieran ser los siguientes:

1. Los resultados del análisis químico de testigos de un volumen V , son asignados a puntos del espacio. ¿Son totalmente confiables los datos? ¿Y los resultados del cálculo?
2. Además de los errores sistemáticos que se introducen al aplicar modelos matemáticos. ¿Cómo influye el error que se introduce al compositar?
3. En muchos casos la red de exploración no es capaz de captar la variabilidad espacial de los datos a pequeña escala. ¿Cómo lograr caracterizarla con un mínimo de costo?
4. Varios resultados demuestran que el parámetro más variable en yacimientos lateríticos es la potencia. ¿Cómo puede la geofísica contribuir a caracterizar este parámetro?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMSTRONG, M. & CARIGNAN, J. 1997. *Géostatistique Linéaire, Application au Domaine Minier*, École de Mines de Paris, 112 p.
- DAVID, M. 1977. *Geostatistical Ore Reserve Estimation*, Elsevier, Amsterdam, 364 p.

- DEUTSCH, C.V. & JOURNEL, A.G. 1998. *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*, Second Edition, Oxford University Press, 369 p.
- JOURNEL, A.G. 1974. Simulation conditionnelle de gisements miniers Theorie et Pratique: Paris, École des Mines de Paris (Thèse Docteur-Ingénieur), 110 p.
- JOURNEL, A.G. & HUIJBREGTS, C.J. 1978. *Mining Geostatistics*, Academic Press, New York, 600 p.
- LEGRÁ-LOBAINA, A.A. 2003. Estimación por kriging usando variogramas dinámicos. Boletín de la Sociedad Nacional de Matemática y Computación, COMPUMAT' 2003, 15 p.
- LEGRÁ-LOBAINA, A.A., TORRES-LOZANO, J. & CRUZ-OROZA, I. 2004. Modelos geoestadísticos de la concentración del Ni en el dominio 7 del yacimiento Punta Gorda, *Minería y Geología*, 20 (1-2) :42-53.
- MARTÍNEZ-VARGAS, A. & RAMÍREZ-GARCÍA, J. 2005. Desarrollo actual de la geoestadística en el mundo, *Minería y Geología*, 21 (4) :1-21.
- MATHERON, G. 1965. *Les Variables Régionalisées et leur Estimation* (Tesis de Doctor de Estado), Editorial Masson, Paris.
- MATHERON, G. & KLEINGELD, W.J. 1987. The Evolution of Geostatistics. APCOM 87. Proceedings of the Twentieth International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries. Volume 3. Geostatistics. Johannesburg, SAIMM, p. 9-12.