

LOG-NORMALIDAD Y EFECTO PROPORCIONAL CARACTERISTICAS FRECUENTES EN LOS YACIMIENTOS DE ORO

Samuel Canchaya Moya

Pasaje El Escapulario 395 Dpto. 303 Ciudad Satélite Sta. Rosa-Callao 1

canmoysa@ec-red.com

Junio 2004

INTRODUCCION:

Por lo general estamos familiarizados con las distribuciones “normales” o gaussianas de las variables que usualmente manejamos en Geología. Estas distribuciones comunes presentan histogramas en forma de campana y más o menos simétricos con respecto a la media. Hay mucho menos costumbre de trabajar con “**distribuciones log-normales**”, a pesar que éstas son muy frecuentes cuando se analiza muestras de prospección y exploración (cualquiera sea el elemento analizado). Dichas distribuciones se caracterizan por tener abundantes valores muy bajos, los cuales conforme van gradando a valores más altos, se hacen cada vez menos frecuentes (distribución sesgada positiva). Es importante remarcar que casi siempre los valores de oro presentan esta característica, cualquiera que sea el tipo de yacimiento.

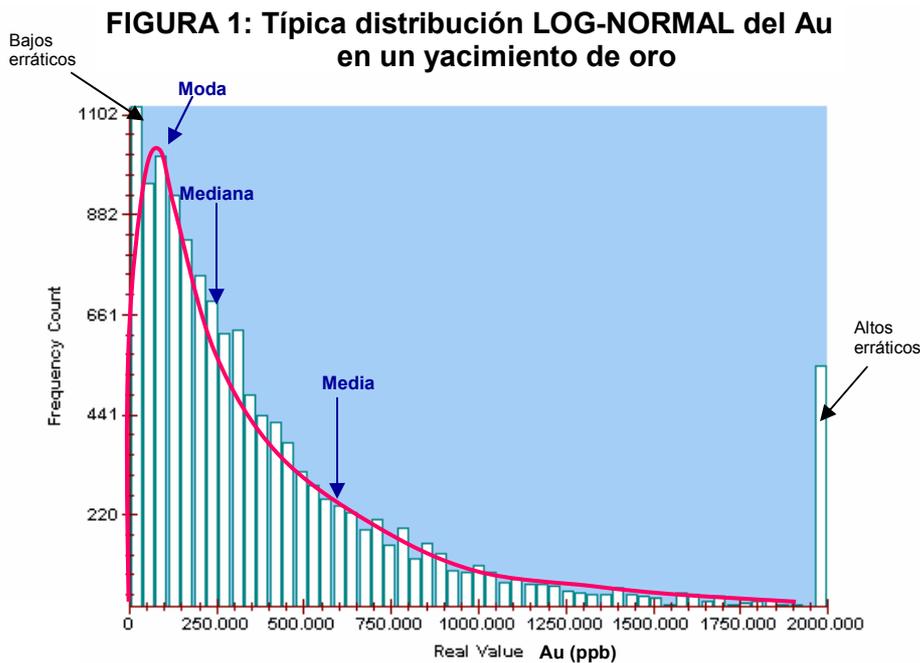
El objetivo del presente trabajo, es llamar la atención sobre este hecho, ya que una distribución log-normal no se puede tratar de manera similar a las normales, binomiales u otras. El asunto es de mucha importancia debido a que en nuestro País abundan los yacimientos de oro; y hasta donde he podido comprobar, no se le está dando la debida importancia a esta log-normalidad habitual del oro.

El tema es más antiguo que la Geoestadística, ya que ha sido tratado en forma sistemática desde inicios de los años cincuenta especialmente por D. G. Krige (1951, 1960 y 1962), quién utilizó la enorme información de los famosos yacimientos auríferos de Sudáfrica, los cuales justamente se caracterizan por su distribución log-normal. La gran contribución histórica de D. G. Krige fue reconocida por el padre de la Geoestadística, G. Matheron, quién bautizó como “Kriging” al proceso geoestadístico de ponderación que se efectúa por regresión múltiple, el cual como sabemos permite obtener el mejor estimador no sesgado con el mínimo error. Hay que señalar que esto no tiene relación directa con el asunto que vamos a presentar a continuación.

No es posible hacer una presentación exhaustiva del tema sin transgredir los límites de extensión fijados para el presente trabajo; por tal motivo sólo estamos realizando una presentación general, con el objetivo principal de motivar la atención y discusión de la log-normalidad y el efecto proporcional que se asocia al oro.

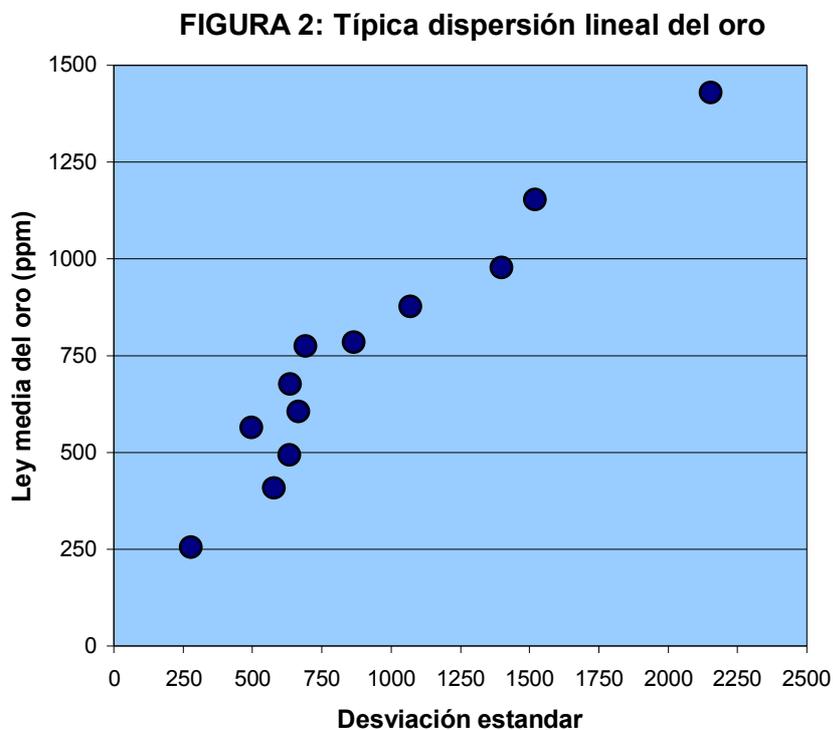
DISTRIBUCION LOG-NORMAL.- Todos los que han ploteado alguna vez un histograma de leyes de oro podrán haberse percatado que casi siempre éste presenta una apariencia como la mostrada en la figura 1; es decir una **distribución log-normal**, que se caracteriza por ser una distribución asimétrica, con sesgo positivo (hacia la derecha), en la cual tanto la moda como la mediana se ubican a la izquierda de la media.

En la figura 1 se muestra: tanto el diagrama de barras (distribución discreta) como la curva roja de ajuste (distribución continua). Tal como se puede observar la curva es tangencial, tanto al eje de las ordenadas, como al de las abscisas. Un amplio tratado sobre este tipo de distribuciones se puede encontrar en Krige (1981); también se recomienda revisar los escuetos pero interesantes capítulos de David (1977; cap. 1.3.2) y Journel & Huijbregths (1978; cap. III.B.6).



Para que la distribución mostrada en la Fig. 1 se observe más claramente hemos agrupado convenientemente los valores extremadamente bajos (“bajos erráticos”) y los extremadamente altos (“altos erráticos”) en intervalos de clase separados, los cuales no pertenecen a la distribución lognormal, precisamente por ser erráticos.

EFEECTO PROPORCIONAL.- Otra característica de una distribución lognormal es el denominado “efecto proporcional”, que se refiere a la marcada correlación lineal que existe entre la ley media y su respectiva desviación estándar, cuando consideramos sub-dominios dentro de una determinada población de datos.

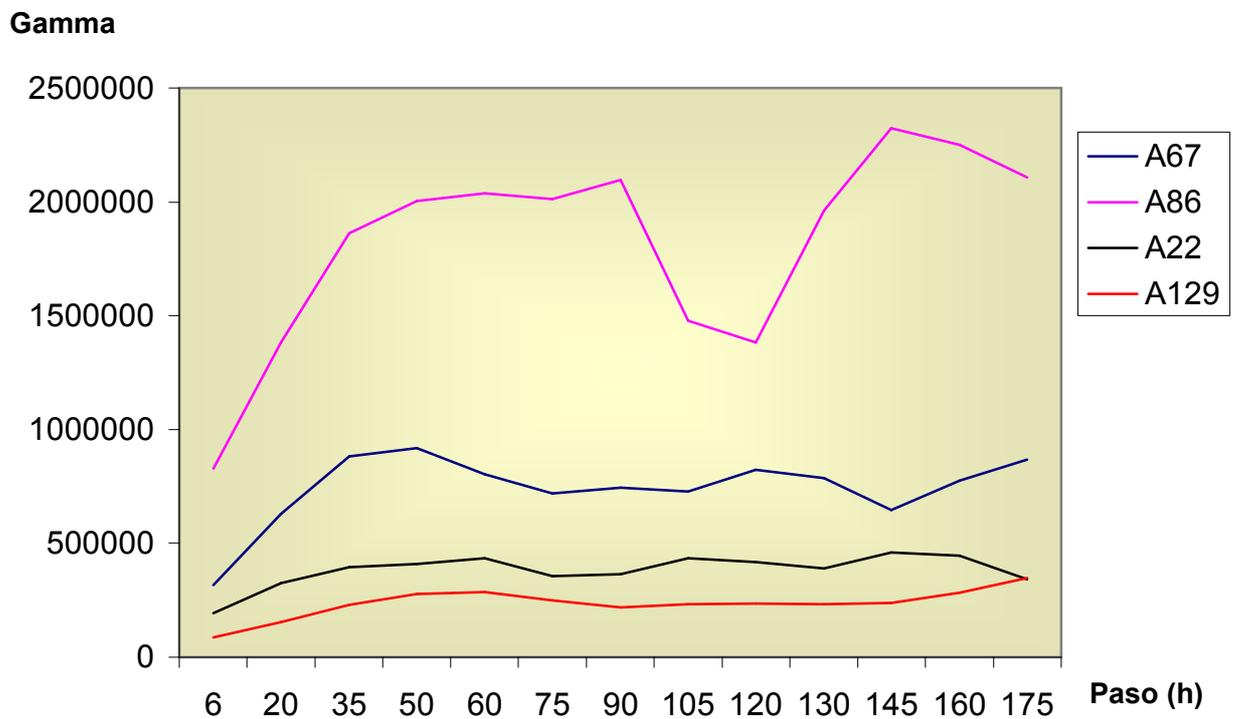


Este efecto se muestra en la figura 2, donde se ha plotado las medias versus las respectivas desviaciones estándares, de varios taladros diamantinos de un prospecto de oro.

Claramente se observa como se distribuyen los valores mostrando una dispersión lineal. Es obvio que cuando la media es pequeña, su desviación estándar es igualmente pequeña; mientras que cuando la media sube, también sube el valor de su desviación estándar (correlación lineal directa); justamente esta característica se conoce como: “efecto proporcional”. A continuación vamos a ver como se refleja esta característica en los respectivos variogramas.

ANÁLISIS VARIOGRAFICO EN POBLACIONES LOG-NORMALES.- Cuando plotamos los variogramas experimentales de los taladros arriba mencionados, el efecto proporcional se refleja notoriamente en ellos. La varianza estadística, es decir la meseta (“sill”) de los variogramas, es proporcional al cuadrado de las respectivas medias. Esto se ve claramente en la Fig. 3. Por claridad sólo se ha plotado cuatro variogramas de los doce que se han considerado en la Fig. 2.

FIG. 3: Variogramas ordinarios



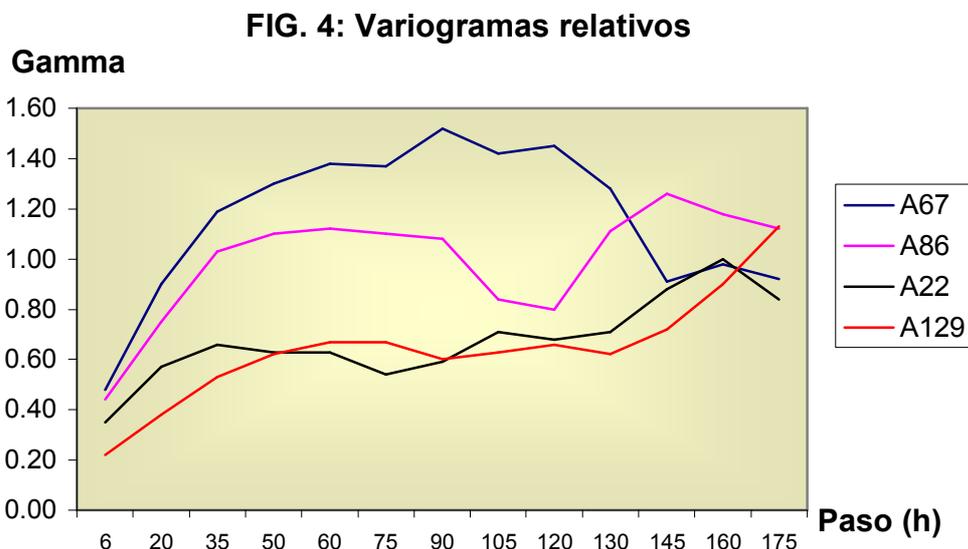
DISCUSION.- En la bibliografía se encuentra recomendaciones controversiales para tratar este tipo de distribuciones. Por ejemplo se recomienda dividir los valores gamma, de cada variograma, por su respectiva media al cuadrado; así se obtiene el llamado “**variograma relativo**”. Casi todos los paquetes o módulos de geoestadística tienen algoritmos para plotear estos variogramas relativos.

Hay que hacer notar que al dividir los gamma por la media al cuadrado, los valores resultantes son adimensionales (no tienen unidades). Para convertirlos en dígitos significativos deberán ser multiplicados por el cuadrado de la respectiva media.

David (1977; pág. 173) y otros autores muestran ejemplos donde los variogramas relativos llegan a coincidir, haciendo “desaparecer” el efecto proporcional; incluso recomiendan reemplazar todos los variogramas por uno promedio para poder modelizar todo el depósito.

Esta forma de trabajo es cuestionable, ya que cuando se trata de comprobar localmente los valores que reproducen el “modelo variográfico relativo”, se encuentra valores erróneos.

En la figura 4 se ha planteado los variogramas relativos correspondientes a los de la figura 3; donde se puede ver claramente que no necesariamente se obtiene una coincidencia de los variogramas (“desaparición” del efecto proporcional). Probablemente esto se deba a que en el yacimiento en cuestión (oro diseminado epitelial, de alta sulfuración) el efecto proporcional es muy marcado. Esto es evidente en la figura 2; la proporción entre la media mínima y máxima es de 1 a 6; y entre la desviación estándar mínima y máxima es de 1 a 9.



Lo que recomienda la experiencia es tratar de sub-dividir el dominio total de datos en sub-dominios de alta, intermedia y baja ley; y luego hay que tratar de ajustar los variogramas ordinarios a modelos promedios y así modelar por partes el dominio total.

La única ventaja de los variogramas relativos estaría en la facilidad con que permiten obtener varianzas relativas, lo cual nos da directamente el error relativo estándar (que normalmente se obtiene dividiendo la varianza por la media al cuadrado).

Hay que hacer notar además que el efecto proporcional también se refleja en el efecto pepita, tal como se observa en la figura 3; esto es entendible ya que el efecto pepita no es otra cosa que la meseta (“sill”) de una estructura a pequeña escala. Las connotaciones de este efecto proporcional micro-estructural serán tratadas en un artículo posterior.

Finalmente hay que puntualizar que los valores de oro en vetas también presentan este efecto proporcional; sólo que en este caso es recomendable comparar sub-dominios por niveles o subniveles, en lugar de usar los taladros.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- David, M. (1977) Geostatistical Ore Reserve Estimation.- Elsevier Scientific Publishing Co.; 364 p.
- Journel, A. G. & Huijbregths Ch. J. (1978) Mining Geostatistics.- Academic Press; 600 p.
- Krige, D. G. (1951) A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand.- *J. Chem. Metall. Min. Soc. Afr.* Dec. 1951: 119-139.
- Krige, D. G. (1960) On the departure of ore value distributions from the log-normal model in South African Gold Mines.- *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.*, **61**: 231-244.
- Krige, D. G. (1962) Statistical applications in mine valuation.- *J. Inst. Mine Survey. S Afr.*, **12**(2): 45-84, **12**(3): 95-136.
- Krige, D. G. (1981) Lognormal-de Wijsian Geostatistics for Ore Evaluation.- South African Inst. Min. Metall; 51.