

Análisis espacial de variables en Geología Médica

J.A. Luque¹, E. Pardo², M. Chica³, J. Grima⁴, V. Rodríguez⁵ y C. Grima⁶

¹ Instituto Geológico y Minero de España (IGME). 18006 Granada. ja.luque@igme.es

² Instituto Geológico y Minero de España (IGME). 28003 Madrid. e.pardo@igme.es

³ Universidad de Granada. 18006 Granada. mchica@ugr.es

⁴ Instituto Geológico y Minero de España (IGME). 41004 Valencia. j.grima@igme.es

⁵ Universidad de Sevilla. 41004 Sevilla. vrgaliano@us.es

⁶ Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía (UPM). carlos.grima@upm.es

Resumen: La mayor parte de las variables de interés en Geología Médica (GM) tienen una componente espacial y, por tanto, una variabilidad que es necesario conocer y cartografiar como parte de un primer análisis. Igualmente, la relación entre diferentes parámetros es una línea de trabajo de gran interés en esta disciplina. En este contexto, la Geoestadística ofrece un conjunto de herramientas óptimas que permiten modelizar el comportamiento espacial y estimar de forma continua las variables estudiadas. En este trabajo se presenta dos aplicaciones de diferente grado de complejidad para determinar la distribución del As, Sb y el Pb mediante krigeaje ordinario (KO), así como el grado de correlación entre ambos elementos mediante cokrigeaje (CK). El KO permite conocer la distribución más probable con un error de estimación mínimo. En este trabajo se ha empleado el cokrigeaje factorial (CKF) que, además, permite cartografiar por separado las componentes modelizadas en el variograma. Esta descomposición es muy útil pues se puede cartografiar por separado las anomalías y el fondo geoquímico. En ambos casos, el soporte de estimación ha sido una malla de 2km por 2km.

Palabras clave: análisis espacial, Geoestadística, As, Sb, Pb.

Abstract: *In Medical Geology most of the variables of interest have a spatial component and, therefore, mapping variability is required as part of a preliminary analysis. Likewise, relationship between different parameters and covariates is a line of work of great interest in this discipline. In this context, Geostatistic offers a set of optimal tools that allow modelling spatial behaviour and estimation of studied variables. This paper presents two applications with different degree of complexity to determine distribution of As, Sb and Pb by means of ordinary kriging (OK), as well as the degree of correlation between both elements with the aid of cokriging (CK). OK allows knowing the most probable distribution with a minimum estimation error. In this work, factorial cokriging (FCK) has been used which, in addition, allows mapping variogram components individually. This decomposition is very useful because anomalies and geochemical background can be mapped separately. In both cases, the estimation is based on a 2x2 km grid.*

Key words: *Spatial analysis, Geoestatistic, As, Sb, Pb.*

1. INTRODUCCIÓN

El análisis numérico en GM es fundamental pues es muy habitual trabajar con multitud de parámetros y gran cantidad de registros, tanto de tipo numérico como categórico. En este sentido, la Geoestadística ofrece un conjunto de herramientas y métodos de estimación y simulación óptimos (Chica-Olmo y Luque-Espinar, 2002; Goovaerts 2005; Goovaerts et al., 2005; Journel y Huijbregts, 1978) que permiten predecir o simular el valor de las variables experimentales donde no ha sido posible tomar muestras. La exactitud con la que se realicen las predicciones o estimaciones es fundamental, sobre todo cuando esta información se vaya a

utilizar para tomar decisiones sobre la gestión del territorio o, como es el caso de la GM, sobre la salud pública. Los métodos geoestadísticos no sólo predicen el valor más probable, basado en el modelo de variograma ajustado a los datos experimentales, sino que también aporta el valor del error de estimación. El error de estimación no sólo informa sobre la precisión de la estimación, también se puede utilizar como criterio para mejorar la red de observación basándose en el valor máximo de error de estimación que se desea asumir.

El As, Sb y Pb presenta afinidad geoquímica pero determinadas actividades antrópica pueden propiciar el incremento de estos elementos tanto en suelos como en aguas subterráneas. Desde el punto de vista de la salud, los efectos del As son bien conocidos, cáncer, problemas cardíacos, diabetes, ... (Camacho et al., 2011, entre otros). De igual forma, El Sb y el Pb también están asociados a diferentes enfermedades relacionadas con la piel, el corazón o abortos (Mitchel et al., 2011, entre otros).

En este trabajo se presenta la estimación de tres elementos mediante KO y, con los mismos elementos, la aplicación de CKF. Los tres elementos son valores experimentales de concentración en el suelo tomados del Atlas geoquímico de España (Locutura Rupérez et al., 2012).

2. METODOLOGÍA

La Geoestadística se fundamenta en la Teoría de las Variables Regionalizadas (Matheron, 1965) que interpreta los datos como variables que presentan una distribución espacial caracterizada por una estructura de correlación o variabilidad espacial. Este aspecto reviste gran importancia para elegir el modelo de estimación espacial más apropiado. El variograma es la herramienta que permite determinar y modelizar el comportamiento espacial de las variables.

$$\gamma(h) = 1/2E\{Z(x) - Z(x + h)\}^2$$

Una vez calculado el variograma experimental se ajusta alguno de los modelos permitidos o bien una combinación de ello. El krigeaje permite estimar el valor más probable en cualquier punto de la zona de trabajo (Journel y Huijbregts, 1978) a partir del modelo de variograma ajustado. Hay diferentes métodos de estimación que se adapta a diversas situaciones relacionadas con los problemas de conocer la variable en puntos no muestreados.

La Geoestadística también permite analizar y estimar más de una variable a la vez mediante el CK. El CK es la extensión multivariante del krigeaje, en el que se realiza la estimación de una variable en función de la correlación con el resto. El CK permite la descomposición espacial de la variabilidad total en escalas de variación espacial o factores (Pardo-Igúzquiza y Dowd, 2002). Una de las ventajas del CK es que las variables costosas de adquirir se pueden estimar correctamente y con errores de estimación menores que si se estima individualmente.

3. RESULTADOS

La Tabla I muestra los estadísticos de las variables estudiadas. No obstante, dado que la distribución de las tres variables muestra un fuerte sesgo, se ha calculado el logaritmo en base 10, de esta forma la distribución de las concentraciones de los elementos en el suelo es prácticamente normal, que es uno de los requisitos del KO. Una vez realizado el análisis variográfico, los variogramas ajustados han sido los siguientes (Tabla II). El análisis variográfico ha permitido en los tres casos determinar la existencia de tres estructuras de variabilidad muy claras que se utilizarán en el CKF para cartografiar cada una de las escalas de variabilidad que representan las estructuras mencionadas.

Una vez ajustado el modelo de variograma, se ha realizado la estimación de cada variable. La Figura 1 muestra la estimación de As. Los valores por encima del percentil 95% se observan, principalmente sobre rocas del hercínicas, en rocas del Paleozoico de las Béticas y en rocas de origen volcánico. Igualmente, en algunos detríticos del centro, sur y este de la zona de trabajo también se observan. La estimación del Sb (Figura 2) muestra que las mayores concentraciones presentan una distribución similar a la del As, salvo que aparecen más anomalías en Sierra Morena y en algunos detríticos costeros del Mediterráneo. Las mayores concentraciones de Pb (Figura 3) se presentan en Sierra Morena, zona norte y en todo el borde mediterráneo. De forma dispersa también se observan en algunos detríticos de las cuencas del Duero, Guadalquivir y Ebro.

En relación con los resultados del CKF, se muestran el factor 3 o de mayor alcance que está relacionado con el fondo geoquímico de cada elemento (Figuras 4, 5 y 6). Prueba de ello es que las mayores concentraciones de los elementos, tomando como referencia el percentil 95%, se distribuyen de forma bastante homogénea por toda la zona de estudio.

	Min	Max	Media	Desv Estan	1 Q	Mediana	3 Q
As	0.1	2510	15.5	46.6	5.5	9.2	15.4
Sb	0.02	333.2	0.9	4.7	0.2	0.4	0.8
Pb	0.01	9120.2	35.1	176.8	15.5	21.6	32.1

TABLA I. Estadísticos de los análisis de suelos.

	Estructura 1		Estructura 2		Estructura 3	
	Meseta	Alcance	Meseta	Alcance	Meseta	Alcance
As	0.1	3500	0.05	18000	0.039	70000
Sb	0.06	3000	0.03	13500	0.07	65000
Pb	0.05	4000	0.018	13000	0.03	98000

TABLA II. Variogramas ajustados. En todos los casos el modelo ha sido del tipo esférico.

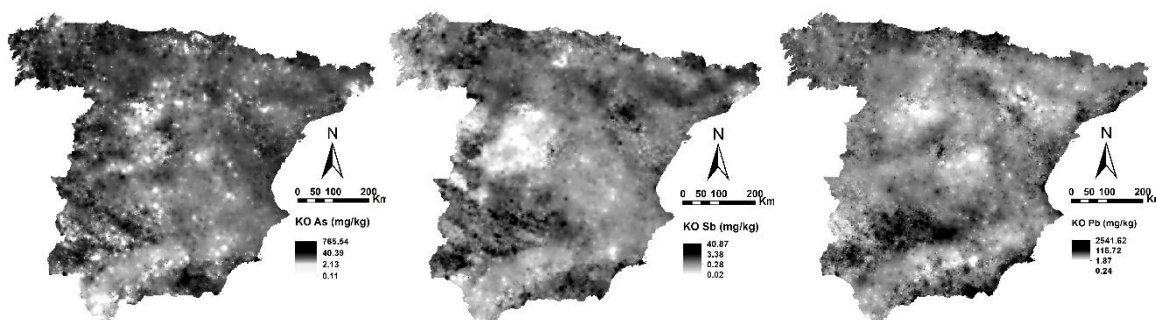


FIGURA 1. KO de As.

FIGURA 2. KO de Sb.

FIGURA 3. KO de Pb.

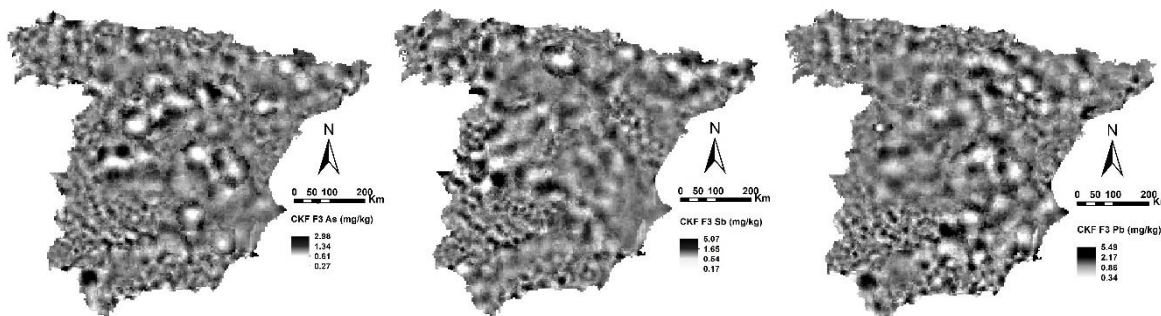


FIGURA 4. CKF de As (Factor 3).

FIGURA 5. CKF de Sb (Factor 3).

FIGURA 6. CKF de Pb (Factor 3).

Mediante una superposición en ArcGis de las estimaciones mediante KO, se aprecia un importante grado de coincidencia en la distribución de valores elevados. No obstante, hay mayor coincidencia entre las parejas As-Sb y Pb-Sb que entre As-Pb. Si se realiza esta misma comparación entre factores, se puede comprobar que la coincidencia en la pareja As-Pb es bastante mayor que en las otras parejas. La pareja que presenta menor coincidencia es As-Sb, casi 20 veces menos que As-Pb.

4. CONCLUSIONES

La Geoestadística proporciona herramientas eficaces y óptimas para analizar el comportamiento espacial de las variables de interés para la GM, así como estimaciones continuas en el espacio con errores de estimación cuantificables y mínimos. Igualmente puede afrontar análisis multivariantes, muy comunes en esta disciplina.

En función del problema que se quiere analizar, la Geoestadística ofrece un conjunto de métodos de estimación basadas en el variograma. En este sentido, el KO ofrece una estimación óptima de una variable y, debido a que permite conocer los errores de estimación, define los sectores de la zona de trabajo donde hay más déficit de información experimental.

Por otra parte, CKF es un método más complejo, es multivariable y proporciona una cartografía por separado de todos los factores o componentes que presenta el modelo de variograma, de ahí su gran utilidad en GM.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por los proyectos de investigación CGL2015-71510-R, KARSTCLIMA, del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad y el proyecto SOILWATER del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

REFERENCIAS

- Camacho, L.M., Gutiérrez, M., Alarcón-Herrera, M.T., Villalba, M., Deng, S. (2011). Occurrence and treatment of arsenic in groundwater and soil in northern Mexico and southwestern USA. *Chemosphere*, 83: 211–225.
- Chica-Olmo, M. y Luque-Espinar J.A. (2003). Interpolación espacial en la creación de cubiertas temáticas en SIG. En: *Los sistemas de información geográfica en la gestión de los riesgos geológicos y el medio ambiente* (L. Laín Huerta, ed). IGME. España, 181-198.
- Goovaerts, P. (2005). Analysis and detection of health disparities using geostatistics and a space-time information system. The case of prostate cancer mortality in the United States, 1970-1994. En: *Proceedings of GIS planet*. 1-20.
- Goovaerts, P., Avruskin, G., Meliker, J., Slotnick, M., Jacquez, G., Nriagu, J. (2005). Geostatistical modeling of the spatial variability of arsenic in groundwater of southeast Michigan. *Water Resour. Res.* 41, 1–19.
- Journel, A.G. y Huijbregts, C.J. (1978). *Mining Geostatistics*. Academic Press, London. 600 pp.
- Locutura Rupérez, J., Bel-lan Ballester, A., García-Cortés, A., Martínez Romero, S. (2012). *Atlas Geoquímico de España*. IGME. Madrid. 592 pp.

- Matheron, G. (1965). *Les Variables Regionalisées et leur estimation*. Masson et Cie. Paris. 305 pp.
- Mitchell, E., Frisbie, S., Sarkar, B. (2011). Exposure to multiple metals from groundwater a global crisis: geology, climate change, health effects, testing, and mitigation. *Metallomics*, 3 (9): 874–908.
- Pardo-Igúzquiza, E., Dowd, P.A. (2002). FACTOR2D: a computer program for factorial cokriging. *Comput. Geosci.* 28, 857–875.