

# TRATAMIENTO DE DATOS DE EXPLORACIÓN MINERA CON LA UTILIZACIÓN DE LA GEOMATEMÁTICA

José Leonardo Silva Andriotti <sup>(1)</sup>

(1) CPRM - Serviço Geológico do Brasil

## RESUMEN

La expansión de la utilización de los métodos exploratorios Geoquímica y Geofísica en las últimas décadas (con generación de grandes cantidades de datos numéricos) fue más rápida que la aplicación de técnicas adecuadas al tratamiento numérico de los resultados disponibles. En los últimos años, con el avance de la informatización en todas las áreas de la actividad humana, las técnicas matemáticas y estadísticas que existían hace largo tiempo empezaron a ser más comunes y probaron ser esenciales como herramienta de interpretación de datos obtenidos en las diversas etapas de la Exploración Minera. La Geomatemática, en una definición genérica, incluye todas las aplicaciones de la Matemática a los estudios de la corteza de la Tierra. En el presente trabajo presentamos, en forma resumida, algunas de las principales técnicas de tratamiento numérico de datos (estadísticas y Geoestadística) que han revelado utilidad cuando del estudio de datos obtenidos en Exploración Minera.

## ABSTRACT

The geologist is being required to make more quantitative judgments, and Geomathematics (including statistical and geostatistical approaches) is being applied in virtually every branch of Geosciences. Because of the importance in understanding these subjects the geologists need to be introduced to them. Since the seventies Geomathematics has been used routinely in several countries in which mineral exploration is an important activity (USA, Canada, Australia, South Africa). This paper discusses the main goals of these techniques. Cluster Analysis, Linear Regression Analysis, Analysis of Variance (ANOVA), Factor Analysis, Principal Component Analysis, Trend Surface Analysis, Discriminant Analysis, Hypothesis Tests and Geostatistics are discussed in this paper.

## **INTRODUCCIÓN**

El tratamiento de datos con la utilización de la informática ha tenido notable aumentación en los últimos años en muchas áreas del conocimiento científico, como en Ciencias Sociales, en el área de Ciencias Humanas, en Genética, Medicina y otros. Hay que tenerse en cuenta que la interpretación de determinado conjunto de datos (una muestra) puede ser muy mejorada y detallada si utilizamos estas técnicas. En otras palabras se puede producir estudios elaborados, detallados, con una connotación más científica a la interpretación, pudiéndose identificar zonas en el área de trabajo, relaciones importantes entre variables, asociaciones de algunos elementos químicos y también se puede establecer comparaciones importantes entre determinadas variables, algunos grupos de variables (óxidos principales, elementos menores, por ejemplo) o mismo entre determinadas suites minerales.

Cuando se dispone de solamente una variable los estudios estadísticos son más simples, como la identificación de zonas anómalas o de zonas de comportamientos distintos (la variabilidad es más grande en un sector que en otro, por ejemplo, o sea, para tenerse un conocimiento del área no necesitamos tener densidad homogénea de muestreo, como consecuencia se puede tomar menos muestras en determinadas zonas del área). Es posible también identificar valores conocidos en la bibliografía de lengua inglesa como outliers (demasiadamente elevados o bajos), orientándose el trabajo con el conjunto de datos en función de su presencia. Si tenemos solamente dos variables el estudio puede ser más elaborado, pues la relación entre ellas puede ser cuantificada dándonos ciertas indicaciones.

Los beneficios técnicos son más grandes y más significativos cuando la cantidad de variables aumenta. ¿Como interpretar cinco mil valores analíticos observados conjuntamente? ¿Como clasificar, en este caso, muestras similares? ¿Cuántas variables necesitan tener valores similares (y en que grado de similitud) para que se pueda asociarlas en un mismo grupo de muestras? ¿ Que proximidad necesitan tener los valores para que sean considerados similares? ¿Cual es el error que hacemos en nuestras evaluaciones, o sea, cual es la precisión de la evaluación? Estas dudas y muchas otras pueden tener solución en algunas de las técnicas estadísticas disponibles. En la continuación discutimos algunas de estas técnicas que juzgamos que son importantes para una interpretación de datos en distintas etapas de la exploración minera, sin dependencia de la escala de trabajo.

## **ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS (CLUSTER ANALYSIS)**

Utilizándose esta técnica se puede verificar si dentro de un conjunto compuesto por muchas muestras de campo existen conglomerados de muestras, cada una de las cuales con muchas variables, o sea, si existen o no zonas identificables en el área de trabajo, tomadas en cuenta todas las variables simultáneamente (y no individualmente). Este tipo de respuesta nos puede indicar similitud de comportamiento litogeoquímico entre dos o más cuerpos graníticos en una región, por ejemplo. El Cluster Analysis es una técnica de grande aplicabilidad en la Exploración Minera.

## **REGRESIÓN LINEAL**

Por medio de la Regresión Lineal se puede representar los valores de determinadas variables en función de las demás variables presentes en el conjunto de datos. Así, se puede hacer inferencias sobre el valor de una determinada variable en determinado punto en lo cual ella no tenga sido mensurada, pero las otras con las cuales ella está relacionada tengan sido mensuradas.

## **ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANALYSIS OF VARIANCE)**

Cuando tenemos diversos niveles de muestreo, como por ejemplo muestras de arenas de ríos de 1ª, 2ª y 3ª órdenes y deseamos identificar cual orden de río está contribuyendo más para la variabilidad total de los datos se debe aplicar la Análisis de la Varianza, pudiéndose seleccionar un orden de río para muestreo en las etapas siguientes y no utilizar otros órdenes de río.

## **ANÁLISIS FACTORIAL (FACTOR ANALYSIS) Y ANÁLISIS EN COMPONENTES PRINCIPALES (PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS)**

Por medio de estas técnicas se puede identificar asociaciones importantes de variables en el conjunto de datos y relacionar estas asociaciones con procesos geológicos que actuaron sobre las rocas estudiadas. Estas son las técnicas de tratamiento de datos más utilizadas actualmente en la Exploración Geoquímica, de acuerdo con la bibliografía más reciente. Una de sus ventajas es la posibilidad de cartografiar los procesos geológicos identificados. Por ejemplo: si identificamos una asociación de variables con metasomatismo se puede cartografiar el comportamiento del metasomatismo en el área de trabajo, los sitios donde fue más intenso, cual es el sentido de su crecimiento, etc. También se puede asociar puntos de muestreo.

## **ANÁLISIS DE LAS SUPERFICIES DE TENDENCIA (TREND SURFACE ANALYSIS)**

Aplicándose esta técnica se puede tener una idea de las tendencias de crecimiento o disminución de los valores de las variables estudiadas, sobretodo en los casos en los cuales los mapas de isovalores no permiten visualizar estas tendencias. Esta técnica fue muy utilizada en Geología en los años 1970.

## **ANÁLISIS DISCRIMINANTE (DISCRIMINANT ANALYSIS)**

Análisis Discriminante posibilita discriminar grupos en un conjunto de datos, estableciendo el error hecho cuando se clasifica una nueva muestra tomada en uno de los grupos ya definidos anteriormente. Esta técnica exige, para su aplicación, una serie de cuidados especiales. En proyectos de cartografía geológica ejecutados por CPRM – Serviço Geológico do Brasil, esta técnica fue aplicada con suceso, han sido hechos estudios discriminantes entre sienos y monzogranitos y entre ortos y paragneises, además de entre otras suites presentes en las áreas de trabajo.

## **TESTES DE HIPÓTESIS (MULTIVARIABLES)**

Es posible que tengamos necesidad de testar la similitud entre grupos a un determinado nivel de seguridad, para esto se puede utilizar los testes de hipótesis multivariados. Esta técnica fue utilizada con resultados importantes en los proyectos de evaluación de arenas industriales en la Baixada Santista (São Paulo/Brasil), allá se buscaba saber si había diferencias significativas entre las arenas Holocénicas y las Pleistocénicas, si los diversos niveles identificados en el perfil vertical tenían o no similitudes.

## **GEOESTADÍSTICA**

Entre los problemas que existían para las empresas del sector minero estaba la subestimación o la surestimación de las reservas minerales. Los métodos convencionales (Polígonos, Triángulos, Secciones Transversales, Inverso de las Distancias – al cuadrado o otra ponderación)) no tenían respuesta a este problema. Estos métodos no consideraban factores geológicos impor-

tantes como anisotropías. Además no evaluaban el margen de error de la evaluación. Los métodos estadísticos evalúan el margen de error pero no llevan en cuenta la ubicación de los puntos de toma de muestras.

Daniel Krige, estudiando yacimientos de oro de África del Sur y Georges Matheron, ingeniero francés, empezaron buscar soluciones para estos problemas en los años 1950. Georges Matheron y su equipo de colaboradores introdujeron el soporte teórico de la Geoestadística (el término Geostadística fue por primera vez utilizado en el libro *Traité de Géostatistique Appliquée*, de Georges Matheron). Países de tradición minera como África del Sur, Australia, Canadá, Estados Unidos y Chile empezaron a utilizar la Geoestadística de forma intensa en sus yacimientos minerales, y se iniciaron cursos de formación de personal experto en este tema, el más conocido es el de Fontainebleau (Francia), en la *École Nationale Supérieure des Mines de Paris*.

Además de su grande utilización en la evaluación de reservas minerales la Geoestadística es muy importante en la definición de la densidad de la red de muestreo más adecuadas al conocimiento geológico de las áreas estudiadas. Son determinadas áreas de influencia de las muestras, evitándose exageraciones de muestreo, con disminución de gastos en las etapas de la exploración minera. La Geoestadística tuvo grande incremento de utilización en los últimos años, con resultados comprobados en las frentes de explotación minera. Actualmente tiene grande utilización en Hidrogeología, Meteorología, Agricultura, Geología Ambiental, Ciencias Económicas y otras. La Geoestadística es la técnica de evaluación de reservas minerales que tuvo el más fuerte avance en los últimos veinte años, y también la que mostró resultados más cercanos a los valores reales (los que fueron obtenidos en las actividades de explotación).