

8. En los triángulos QFL y Qm F Lt de Dickinson y Suczek (1979), la fuente de aporte de la Fm. Polier se ubica en los campos cratónicos y del orógeno reelaborado aunque para su Mb. Roble, se coloca en el campo del bloque continental (cratón).
9. El Mb. Roble posee una madurez mineralógica y textural más marcada que el resto de la Fm. Polier, y se derivó principalmente de la erosión de sedimentos terrígenos ricos en cuarzo. Esto, unido a lo expresado en el punto 8, sugiere que debió ocurrir un importante cambio en el régimen de sedimentación de la cuenca al comenzar la acumulación del Mb. Roble.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan su reconocimiento a Evelio Linares Cala, del Centro de Investigación y Desarrollo del Petróleo, por las descripciones petrográficas de los núcleos de varias perforaciones profundas realizadas en Pinar del Río, que puso a disposición de ellos.

### BIBLIOGRAFÍA

- ANASTASIU, N.: *Minerales y rocas sedimentarias*, Ed. Técnica, Bucarest, Rumania, 1977 (en rumano).
- ANDERSON, T. and V. SCHMIDT: *The evolution of Middle America and the Gulf of Mexico-Caribbean Sea region during Mesozoic time*, Geological Society of America, 94, pp. 941-966, 1983.
- ARECES-MALLEA, A.: «La presencia de Piazopteris branneri (Pterophyta) en Consideraciones paleobiogeográficas sobre el jurásico de Cuba», *Revista Española de Paleontología*, 6, pp. 126-134, 1991.
- BERMÚDEZ, P.: *Las formaciones geológicas de Cuba*, Ministerio de Industrias, La Habana, 1961.
- BOUMA, A.: *Sedimentology of some flysch deposits*, Ed. Elsevier, 1962.
- BUROV, V.; D. MARTINEZ y otros: *Informe de los trabajos de levantamiento geológico realizados en la parte occidental de la provincia de Pinar del Río en 1981-85*, Informe inédito, Fondo Geológico de Pinar del Río, 1986.
- COBIELLA-REGUERA, J.: *Curso de Geología de Cuba*, Ed. Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1984.
- COBIELLA, J.; A. BOITEAU; M. CAMPOS y F. QUINTAS: «Geología del flanco sur de la Sierra del Purial», *La Minería en Cuba*, vol. 3, no. 2, pp. 43-53, 1977.
- COBIELLA-REGUERA, J. y A. HERNÁNDEZ-ESCOBAR: *Estudio geológico de la Sierra del Rosario entre Soroa y Cayajabos, provincias de Pinar del Río y La Habana*, Informe, Centro Universitario Hermanos Saíz, 1990.
- DÍAZ-DÍAZ, N.: *Estudio de la composición mineralógica de algunas areniscas de la Fm. Polier*, Trabajo de diploma, Centro Universitario Hermanos Saíz, 1992.
- DICKINSON, W. y CH. SUZCEK: *Plate tectonics and sandstone compositions*, The American Association of Petroleum Geologists, 83, pp. 2164-2182, 1979.
- FURRAZOLA-BERMÚDEZ, G. y et. al.: *Geología de Cuba*, Ed. Nacional de Cuba, La Habana, 1964.
- HACZEWSKI, G.: «Sedimentological reconnaissance of San Cayetano: an accumulative continental margin in the Jurassic of western Cuba», *Acta Geológica Polónica*, 26, pp. 331-353, 1976.
- : «Reconocimiento sedimentológico de la Fm. San Cayetano. Un margen continental acumulativo en el jurásico de Cuba occidental», en: *Contribución a la geología de Pinar del Río*, pp. 228-247, Ed. Científico Técnica, 1987.
- ITURRALDE-VINENT, M.: «Características generales del magmatismo de margen continental de Cuba», *Revista Tecnológica*, XVIII/4, pp. 17-24, 1988.
- : *Naturaleza geológica de Cuba*, Ed. Científico Técnica, Ciudad de La Habana, 1988.
- KHUDOLEY, K. and A. MEYERHOFF: *Paleogeography and geological history of Greater Antiles*, Memoir, Geological Society of America, New York, 1971.
- KRUMBEIN, W. and L. SLOSS: *Stratigraphy and Sedimentation*, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1951.
- MARTINEZ, D.; R. FERNÁNDEZ DE LARA y otros: *Informe sobre los resultados del levantamiento geológico y búsqueda a escala 1:50 000 en la parte central de la provincia de Pinar del Río*, Informe Fondo Geológico de Pinar del Río, 1988.
- OBREGÓN-PÉREZ, P.: *Estudio de las areniscas de la parte alta de la Fm. San Cayetano en Cinco Pesos, Sierra del Rosario. Comparación con similares de otras localidades de las cordilleras de Guaniguanico*, Trabajo de Diploma, Centro Universitario Hermanos Saíz, 1992.
- PINDELL, L.: *Alleghanian reconstruction and subsequent evolution of the gulf of México, Bahamas, and proto caribbean*, Tectonics 4, pp. 1-39, 1985.
- PIOTROWSKA, K.: «Las estructuras de nappes en la Sierra de los Órganos», en: *Contribución a la Geología de Pinar del Río*, pp. 85-156, Ed. Científico Técnica, 1987.
- PIOTROWSKI, J.: «Primeras manifestaciones de vulcanismo en el geosinclinal cubano», en: *Contribución a la Geología de Pinar del Río*, pp. 163-169, Ed. Científico Técnica, 1987.
- PSZCZOLKOWSKI, A.: «Geosynclinal sequences of the cordillera de Guaniguanico in western Cuba; their lithostratigraphy, facies development, and paleogeography», *Acta Geológica Polónica*, vol. 28, no. 1, pp. 1-96, 1978.
- : «Cretaceous sediments and paleogeography in the western part of the Cuban miogeocline», *Acta Geológica Polónica*, 32, pp. 135-161, 1982.
- : «Composición del material clástico de las areniscas de la Fm. San Cayetano en la Sierra de los Órganos (provincia de Pinar del Río)», *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 11, pp. 67-79, 1986.
- : «Paleogeography and paleotectonic evolution of Cuba and adjoining areas during the jurassic-early cretaceous», *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 57, pp. 127-142, 1987a.
- : «Secuencias miogeosinclinales de la cordillera de Guaniguanico; su litostratigrafía, desarrollo de facies y paleogeografía», en: *Contribución a la Geología de Pinar del Río*, pp. 5-84, Ed. Científico Técnica, 1987b.
- : «Late Paleozoic fossils from pebbles in the San Cayetano Formation Sierra del Rosario, Cuba», *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 59, pp. 27-40, 1989a.
- : *Nuevos datos sobre la estratigrafía del cretácico y el paleógeno en la Sierra del Rosario, provincia de Pinar del Río*, 1989b (inédito).
- RADULESCU, D. y ANASTASIU: *Petrología de las rocas sedimentarias*, Ed. Didáctica, Bucarest, Rumania 1979 (en rumano).
- SOMIN, M. y G. MILLÁN: *Geología de los complejos metamórficos de Cuba*, Ed. Nauka, Moscú, 1981 (en ruso).
- ZHIDKOV, A. y N. JALTURIN: «Zona La Oriental-Baritina, Mineralización estratiforme piritico-polimetálica», *La Minería en Cuba*, 2/3, pp. 27-39, 1976.

# PROSPEC: Un sistema de procesamiento e interpretación de datos geólogo-geofísicos

Dr. Guillermo Casarreal Valdés  
Ing. Orestes Díaz Valdés  
Ángel Sola Ayes

Dpto. de Geología, Universidad de Pinar del Río

### INTRODUCCIÓN

El análisis y la interpretación de los datos geólogo-geofísicos es un proceso que en ocasiones se hace difícil o complejo a causa de la naturaleza de los datos, del comportamiento de los campos o atributos estudiados y también en dependencia del objetivo o interés del propio proceso de interpretación.

El desarrollo de la computación y la aplicación cada vez mas amplia de los métodos estadístico-matemáticos constituyen sin duda una gran ayuda para los profesionales de esta rama. No obstante, aún se presentan dos grandes dificultades a nuestro entender: primero, se procesan datos, con el consiguiente gasto de tiempo y recursos, que no brindan información o en ocasiones la alteran y segundo, algunas veces resulta difícil hacer una interpretación físico-geológica de las transformaciones estadístico-matemáticas de los datos, ya que muchas de ellas constituyen procedimientos puramente matemáticos, lo que hace que en los mismos procesos de cómputo, en algunas ocasiones, surjan dificultades serias (por ejemplo, el problema del tamaño de la muestra, la correlación o dependencia entre dos o más atributos, etcétera).

El sistema PROSPEC está basado en la utilización del método del Parámetro Complejo, conjuntamente con varias transformaciones estadístico-matemáticas y la experiencia del profesional que lo utiliza, con el objetivo de revelar las áreas o zonas más perspectivas para la localización de ciertos y determinados objetos geológicos (cuerpos o campos minerales, fallas o zonas de agrietamiento, estructuras de diferentes tipos, etcétera).

PROSPEC tiene dos versiones. En este trabajo se presenta la Versión 1.0, que procesa un conjunto de datos en un perfil, mientras que la Versión 2.0 permite procesar un área de estudio.

### El método de los parámetros complejos

El método del Parámetro Complejo (PC) fue propuesto por el científico ruso G. C. Varjomeev y consiste en calcular cierta función  $W$  en cada punto  $i$  del perfil. Esta función no es más que la mezcla de señales (valores) de cualquier número de métodos diferentes, medidos o expresados en forma numérica. Los atributos para cada punto pueden ser datos geofísicos, geoquímicos, geomorfológicos, etcétera.

Los PC se pueden utilizar para:

1. Reducir la información obtenida por varios métodos de investigación a una información única.
2. Reducir las observaciones al nivel de campo normal en el caso en que no lo esté.
3. Revelar las anomalías débiles sobre un fondo de ruido.
4. Clasificar las anomalías complejas reveladas en perspectivas y no perspectivas.

La esencia del método es la siguiente:

Para cada señal o atributo en cada punto del perfil se calcula la magnitud adimensional:

$$H_{ji} = \frac{A_{ji} - \bar{A}_j}{S_j}$$

**RESUMEN:** En muchas ocasiones el análisis de los datos geólogo-geofísicos se dificulta por la complejidad de los mismos y también por el número de elementos y atributos a considerar. El desarrollo y la aplicación cada día mayor de las técnicas de computación ha permitido utilizar técnicas de interpretación complejas que consideran simultáneamente varios atributos.

El sistema PROSPEC se basa en la utilización del parámetro complejo, conjuntamente con varias transformaciones de los datos y como resultado del procesamiento se obtienen los puntos o zonas del perfil que son más perspectivas para la localización del objeto geológico buscado (cuerpo mineral, campo mineral, falla, etcétera).

El sistema posibilita revelar esos puntos o zonas perspectivas sin necesidad de evaluar previamente los datos de forma independiente.

Se incluye un ejemplo de su utilización con datos tomados de trabajos geólogo geofísicos en el noroeste de la provincia Pinar del Río.

**ABSTRACT:** Sometimes the geologic - geophysical data analysis becomes difficult by the complexity and the large number of elements to consider.

The development and application day after day of computing techniques have permitted to use complex interpretation methods that considered simultaneously several attributes.

PROSPEC is based on the utilization of the complex parameter, conjunctly with some transformations, as result they are obtained the more perspective points or zones for the localization of searched geological object (mineral bodies, mineral field, fault, e. e.).

The systems permits to reveal the perspective points or zones without previous analysis of isolated data.

Had been included an example with data from the geological survey in the north - west part of Pinar del Río province.

donde:

$A_j$ : valor o magnitud del atributo  $A_j$  en el punto  $i$  del perfil;

$A_j$ : media aritmética de  $A_j$  en el perfil;

$S_j$ : desviación standard de  $A_j$ .

La magnitud adimensional  $H$  caracteriza el nivel de contraste de la anomalía y con su ayuda se puede valorar la efectividad relativa de diferentes métodos.

Los PC se eligen de diferentes formas:

- Sobre objetos «patrones» utilizando las técnicas de modelaje.
- Utilizando la información geólogo-geofísica existente.
- Realizando trabajos metodológicos experimentales.

Los PC se definen en dependencia de la forma y signo de cada una de las funciones o curvas de los métodos o atributos particulares, con el objetivo de alcanzar el máximo contraste posible de las anomalías complejas útiles sobre los objetos de interés y al mismo tiempo atenuar las que se consideren ruidos.

De forma general, el cálculo del PC se realiza por la expresión:

$$W_i = \sum_{j=1}^p H_{ji} \text{, siendo } p \text{ el no. de atributos.}$$

Hay que tener en cuenta que esa suma es algebraica, ya que las anomalías negativas de cierto atributo deben restarse para que puedan dar una contribución positiva al PC.

### PROSPEX

Nuestro sistema considera la expresión anterior con una modificación:

$$W_i = \sum_{j=1}^p K_j H_{ji}$$

donde:  $K_j$  es un coeficiente de peso que debe ser elegido por el usuario-interpretador para cada atributo, en dependencia de la forma de la anomalía sobre el objeto de búsqueda y de la efectividad y/o confiabilidad del método. A este coeficiente se le denomina en el sistema, RANGO.

Como se señaló anteriormente, los datos iniciales serán los valores de los campos medidos en cada punto del perfil, o cualquier información de cierta magnitud geológica en dichos puntos. Evidentemente esa información puede ser muy variada. Por ejemplo, si se tienen los valores del campo magnético total o las anomalías de Bouguer y el perfil está ubicado en uno de los flancos de una gran estructura de tipo anticlinal, los datos tendrán

una gran dispersión y la media no caracteriza la tendencia o el fondo. Otro caso negativo sería por ejemplo un perfil de resistividad aparente en una zona donde estén muy difundidas rocas esquistosas grafitizadas, alternadas con secuencias carbonatadas, lo que daría un comportamiento muy variable y oscilante de la curva.

Precisamente para evitar estas dificultades, PROSPEX cuenta con una opción llamada TRANSFORMACIONES que permite realizar diferentes modificaciones a todos y/o cada uno de los atributos con el objetivo de poder conformar el PC con datos realmente útiles.

Analicemos otro ejemplo. Si queremos detectar una falla y disponemos del perfil de  $\Delta g$ , entre otros atributos.

Una falla se puede revelar como un salto o variación brusca en la curva de anomalías de Bouguer o un cambio de concavidad (punto de inflexión) en la curva de anomalías residuales. Ahora bien, se hace difícil definir el coeficiente o RANGO que se le asigna a ese atributo y si se le asigna cero, se pierde una información útil. Para este caso en específico la solución es transformar la curva inicial de  $\Delta g$  y trabajar en su lugar con el gradiente horizontal, que si nos dará un máximo en la zona de la falla, por lo que a la hora de conformar el PC se le puede asignar +1 a ese atributo.

Las transformaciones que están incluidas en el PROSPEX son:

- Promediación o suavizamiento con ventana triangular.
- Cálculo de la residual a partir de la tendencia regional (TREND).
- Gradiente Horizontal.
- Gradiente Vertical.
- Gradiente Total Normal.

#### Datos

Los datos son almacenados en un fichero ASCII de la siguiente forma:

| Atributo | Rango [-2....+2] | Ejemplo:      |
|----------|------------------|---------------|
|          |                  | $\Delta T +1$ |
| valor..1 |                  |               |
| valor..2 |                  | .09           |
| valor..3 |                  | .06           |
| .....    |                  | .03           |
| valor..n |                  |               |
| end      |                  | end           |
| Atributo | Rango [.....]    | $\Delta g +2$ |
| valor..1 |                  | .01           |
| .....    |                  |               |
|          |                  |               |
| end      |                  | end           |

### RESULTADOS

Como resultado del procesamiento de los datos se obtiene un fichero ASCII con extensión. RPT en el cual se almacenan los valores del PC en el perfil para el objeto geológico dado. Los resultados pueden ser exportados a otros sistemas como el SURFER, GeoEas, etcétera. También se obtiene un gráfico del perfil, en el cual están representados los valores del PC. Las zonas perspectivas para el objeto geológico buscado se destacan como máximos del PC.

#### Ejemplo

El sistema fue puesto a prueba con un conjunto de datos del levantamiento geológico a escala 1:50 000 de la parte noroeste de Pinar del Río.

Se emplearon los datos de  $\Delta T$  residual, la componente en cuadratura (a 400 Hz) del campo electromagnético, la transformada de Linsser del campo gravitatorio y los contenidos de Zinc, Plomo y Cobre. En el caso del campo gravitatorio se escogió la transformada de Linsser modificada, asumiéndose 1 ó 0 en el caso de que existiera o no alineamiento, y siguiendo la opinión de varios autores de que los yacimientos sulfurosos de Pinar del Río están asociados espacialmente a zonas de fracturas (Sujarin, 1977; Casarreal, 1985; Fernández de Lara, 1993).

El perfil seleccionado corta campos minerales y zonas de influencia definidas por trabajos anteriores (Fernández de Lara, 1993).

Para revelar las zonas perspectivas para yacimientos piritopolimetálicos se seleccionaron los siguientes coeficientes o rangos:

| Rangos:    | a | b  |
|------------|---|----|
| $\Delta T$ | 1 | -1 |
| CEM        | 1 | 1  |
| Linsser    | 1 | 2  |
| $Q_{Pb}$   | 1 | 1  |
| $Q_{Zn}$   | 1 | 1  |
| $Q_{Cu}$   | 1 | 1  |

Los resultados se muestran en los siguientes gráficos:

|   |   |    |    |    |    |
|---|---|----|----|----|----|
| ^ | ^ | ^  | ^  | ^  |    |
| 5 | 9 | 16 | 22 | 26 |    |
| ^ | ^ | ^  | ^  | ^  |    |
| 6 | 9 | 15 | 18 | 22 | 27 |

Las zonas de los puntos 9 y 22 se corresponden con las conocidas como Cándida e Hidrotermal, y la zona de los puntos 5-6 se corresponde con la zona de influencia Elisa, definida por Fernández de Lara en 1993.

### CONCLUSIONES

El Sistema PROSPEX ver 1.0 permite detectar objetos geológicos mediante un proceso completamente automatizado, sin la necesidad de hacer una valoración cualitativa previa del área de estudio.

Con la ayuda del sistema se pueden revelar anomalías muy débiles e incluso ocultas.

Puede observarse un ligero movimiento relativo de los máximos si se procesa un mismo PC con diferentes juegos de coeficientes o rangos. Ese movimiento relativo estará dado por las características de los atributos que se procesan y de las propias anomalías, pero siempre se presentará en los límites de las zonas perspectivas.

### BIBLIOGRAFÍA

- CASARREAL, G.: *Investigaciones gravimétricas para el estudio de estructuras geológicas y campos meníferos en el noroeste de Pinar del Río*, Tesis presentada para optar por el título de Doctor en Ciencias Geológicas, Leningrado, 1985.
- FERNÁNDEZ DE LARA, R.: *Confección del Mapa Pronóstico para mineralización sulfurosa asistido por métodos matemáticos en la región del Distrito Metalogénico Dora-Francisco en el norte de Pinar del Río*, Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Geológicas, CUJAE, 1993.
- Manual de Geofísica*, «Técnicas matemáticas y de cálculo en la geofísica de prospección», Bajo la redacción de V. I. Dimitreva, Ed. Nedra, Moscú, 1990 (en ruso).
- SUJARIN, V. y J. BARZENAS: «Informe de los resultados obtenidos en las búsquedas a escala 1:50 000 y 1:10 000 en el campo mineral Matahambre-Mella», Fondo Geológico de la E.P.G.R., 1977.