

# Regularidades de la metalogenia endógena y su pronóstico en el macizo metamórfico de la Isla de la Juventud\*

\*\*Manuel PARDO

*RESUMEN. Como resultado del pronóstico metalogénico regional en base a los datos geofísicos, geoquímicos, y geomorfológicos, se confirma el probable vínculo de las regularidades de la metalogenia endógena en el macizo de la Isla de la Juventud, con el patrón estructural de un domo regional elíptico. La mineralización se localiza dentro de los sistemas de fracturas desarrollados, presumiblemente durante la evolución de la estructura cupular referida, con preferencia en su flanco meridional, siguiendo la tendencia de la megantiforma de primer orden "Los Indios". El ambiente de intenso tectonismo en la parte central del macizo, condicionado por la convergencia de numerosas fallas regionales, al parecer, no favoreció la deposición menífera, dada la ausencia de mineralización de esta área. Quedan determinados los sectores más perspectivas para la búsqueda de la mineralización y establecido el orden de su prioridad, en función de la efectividad geológica de los índices que participan en su localización.*

## INTRODUCCIÓN

Numerosos investigadores (Kuman y Gavilán, 1964; Lisitsin, 1970; Garapko *et al.*, 1974; Ananin *et al.*, 1976; Semeonenko *et al.*, 1980) han señalado el especial interés metalogénico del macizo metamórfico de la Isla de la Juventud, por su mineralización característica de metales raros y preciosos (W, Au, Ag, y Sb), única conocida

en la República de Cuba. En general, todos son partidarios de la hipótesis de una enorme intrusión batolítica granitoide, debajo del macizo, como posible fuente de la mi-

\* Manuscrito aprobado en noviembre de 1987.

\*\* Instituto de Geología y Paleontología del Ministerio de la Industria Básica.

neralización. Algunas de las interpretaciones geofísicas cualitativas realizadas de los campos gravimétrico y magnético (Garapko *et al.*, 1974; Liubi *et al.*, 1984), aceptan esta hipótesis para explicar la naturaleza geológica de los respectivos mínimos regionales observados en la parte central del macizo. No obstante, existen algunos hechos que objetan la validez de tal proposición: — Los depósitos minerales no están asociados con los granitoides, sino con cuerpos subvolcánicos de granito-pórfito.

— La escala de la mineralización, en comparación con otras regiones granito-metalíferas (del origen supuesto), es significativamente más pequeña, y tiene un carácter disperso.

— La mineralización no tiene un vínculo espacial preciso con el mínimo gravimétrico regional, lo cual es una regularidad para las regiones mencionadas.

Por otro lado, más recientemente, en los trabajos de Skoseriev *et al.* (1981), Buguel'skiy *et al.* (1985), se propone vincular el macizo de la Isla de la Juventud con una región plegada de activación. Con estas regiones se relacionan los yacimientos vinculados a

fallas y estructuras acompañantes, con menas de Mo-W-Au; de Pb-Zn; de Sb-Hg-U; y otros (Vanecek, 1982). Los datos más concluyentes en la argumentación de esta hipótesis, se ofrecen en el trabajo de Pardo *et al.* (en prensa c), en el cual se plantea la probable ocurrencia de un proceso de distensión localizada, como posible generador de la estructura cupular del macizo, y con el cual pudiera relacionarse la mineralización endógena en esta región.

La investigación presentada, en su propósito de revelar las regularidades en la distribución espacial de la mineralización metálica endógena en el territorio de la Isla de la Juventud, así como determinar los sectores más perspectivas para su búsqueda, utiliza la información geofísica, geoquímica y geomorfológica regional. De una forma breve, se analizan los aspectos de la relación de los resultados del pronóstico con la estructura geológica y con los resultados de las investigaciones precedentes, así como del complejo de investigaciones para la evaluación de los sectores perspectivas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la preparación del trabajo se utilizaron en calidad de materiales primarios básicos:

—Del informe del levantamiento aerogeofísico complejo a escala 1:25 000 (Liubi *et al.*, 1984):

a-El mapa de anomalías magnéticas locales ( $\Delta T_{lo}$ ) con sección 10 nT, escala 1:50 000.

b-El mapa aeroespectrométrico, canal de K con sección 0,5%, escala 1:50 000.

c-El mapa aeroespectrométrico, canal de U con sección 1 p.p.m.

—Cartas topográficas a escala 1:50 000 del Municipio Especial Isla de la Juventud,

hojas: 3581-I; 3582-II; 3681-I, II, III, y IV; 3682-II y III; ICGC, Edición 1, 1979, E-724.

—Del informe del levantamiento geológico y las búsquedas a escala 1:100 000 (Garapko *et al.*, 1974):

a-El mapa de anomalías geoquímicas secundarias del complejo de elementos: Co, Ni, Be, Mo, W, Sn, Cu, Zn, Pb, Ag, As, y Sb.

Para la región occidental del territorio, se utilizaron directamente (sin modificaciones) los resultados del pronóstico en el área

de experimentación, correspondiente al trabajo de Pardo y Díaz (en prensa *b*). En el mismo, se fundamentan los parámetros de los índices, y el método de pronóstico a utilizar, así como se define el coeficiente de prospectividad (P), en términos de la efectividad geológica de los índices considerados.

Como materiales complementarios con fines de la interpretación geológica se utilizaron:

- Los esquemas geológico y tectónico del macizo metamórfico de la Isla de la Juventud, a escala 1:100 000 (Millán, 1979; 1981).
- Los esquemas del patrón estructural del domo regional elíptico, de regionalización tectónico-estructural, y de la cartografía

geólogo-estructural del macizo metamórfico de la Isla de la Juventud, escala 1:100 000 (Pardo *et al.*, en prensa *a*).

- El mapa de yacimientos, manifestaciones y puntos de mineralización es el resultado del levantamiento geológico y las búsquedas a escala 1:100 000 (Garapko *et al.*, 1974).

El método de pronóstico utilizado en la investigación fue el de atipicidad (Pardo y Díaz, en prensa *b*). Su elección estuvo determinada por los siguientes factores: el tipo y volumen de información disponible (mapas de isolíneas de las magnitudes físicas y mapas de contornos de las anomalías geoquímicas); el número reducido de índices (4); así como por las posibilidades cartográficas del método.

## METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

El proceso de trabajo constó de los siguientes pasos:

- Elaboración del esquema de composición de índices para el pronóstico.
- Elaboración del esquema de pronóstico de la mineralización metálica endógena, y determinación de los sectores más prospectivos para la búsqueda.
- Elaboración del mapa de productividad real para la mineralización metálica conocida según los datos de la investigación precedente.

### *Elaboración del esquema de composición de índices para el pronóstico*

Fue elaborado por superposición directa de los mapas de isolíneas o contornos de los índices considerados:

- Anomalías del parámetro aerospectrométrico complejo K x U, para dos intervalos

de valores:  $2 \times 10^{-4}$ , y  $4 \times 10^{-4}$  %. Sus contornos se trazaron por el área de coincidencia espacial de las anomalías de K (%), y U ( $\times 10^{-4}$  %), correspondientes a los valores: 0,5 —  $4 \times 10^{-4}$  %, 1,0 —  $3 \times 10^{-4}$  %, 1,5 —  $2 \times 10^{-4}$  %; y 1,0 —  $4 \times 10^{-4}$  %, 1,5 —  $3 \times 10^{-4}$  %, respectivamente localizadas en zonas lineales con actividad gamma aumentada ( $I_T(\gamma) > 1,5$  fondo).

- Anomalías geoquímicas secundarias complejas. Sus contornos se trazaron por el área de coincidencia espacial de las anomalías de Co, Ni, Be, Mo, W, Sn, Cu, Pb, Ag, As, y Sb, con nivel de significación igual a 95%.
- Anomalías residuales del relieve con intervalo de valores  $3 < H_{res} < 45$  m. Para la zona de Sabana Grande se consideró el índice  $H_{res} > 0$  m.

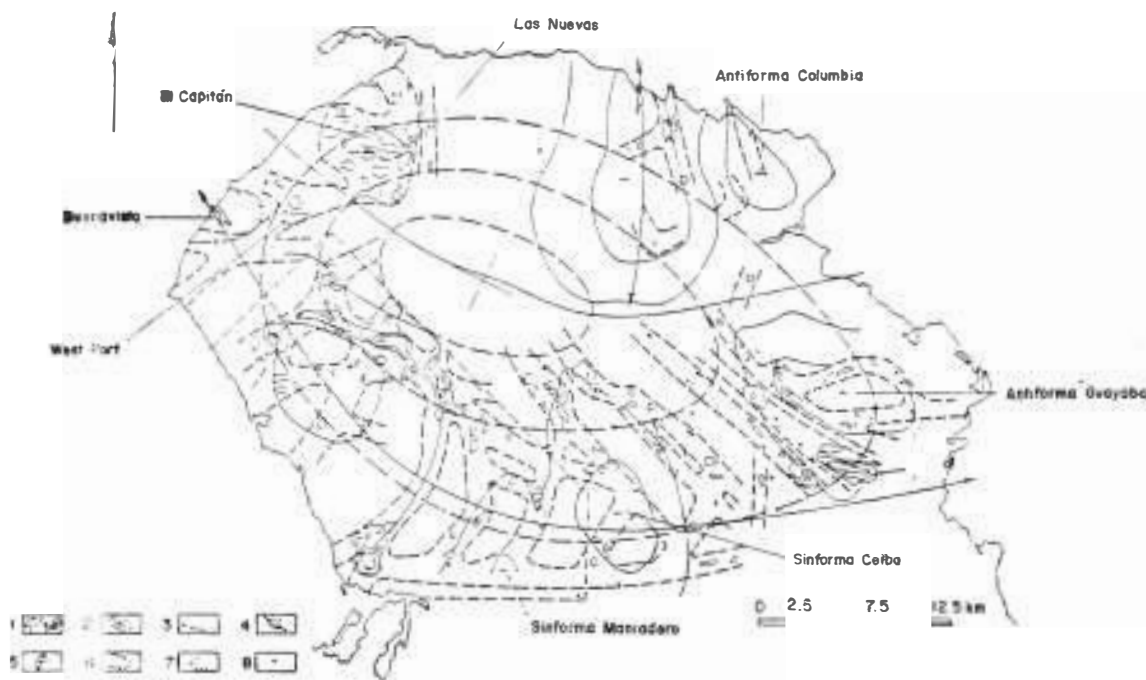
—Anomalías magnéticas locales: positivas, para dos intervalos de valores:  $\geq 30$  nT, y  $\geq 40$  nT; y negativas  $\leq -50$  nT, siendo las de mayor interés, las anomalías positivas. Para la zona de Sabana Grande se consideraron las anomalías magnéticas locales de ambos signos con valor  $\geq 100$  nT, siendo las de mayor interés, las anomalías negativas.

*Elaboración del esquema de pronóstico de la mineralización metálica endógena, y determinación de los sectores más перспекivos para la búsqueda*

Para el establecimiento de las regularidades en la distribución espacial de la mine-

ralización, se utilizaron los umbrales más bajos de los índices  $K \times U$ , y  $\Delta T_{10}$ . Para el análisis se considero también el contorno de las zonas con presencia de un índice. Los resultados obtenidos se presentan en la Fig. 1

Para la determinación de los sectores más перспекivos para la búsqueda de la mineralización, se utilizaron los umbrales más altos de los índices  $K \times U$  y  $\Delta T_{10}$ . En el análisis se consideró solamente las zonas de coincidencia espacial de dos o más índices. Los resultados obtenidos se presentan en la Fig. 2. En ella, los sectores recomendados para la búsqueda se numeran por el orden de su perspectiva. Los datos principales de estos sectores se ofrecen en la Tabla 1. El paréntesis utilizado en



**FIG. 1.** Esquema de pronóstico de la mineralización metálica endógena (Mo, W, Cu, Au-Ag) en la Isla de la Juventud. Escala 1:250 000. 1. Resultados del pronóstico: a, zona de ocurrencia de un índice; b, zona de coincidencia de dos o más índices; 2. Patrón estructural del domo regional elíptico; 3. Límite tectónico de 1er. orden; 4. Megantiforma Los Indios; 5. Megasinforma Nueva Gerona; 6. Estructura vulcano-plutónica supuesta por los datos magnéticos; 7. Límites del área de experimentación; 8. Yacimiento.

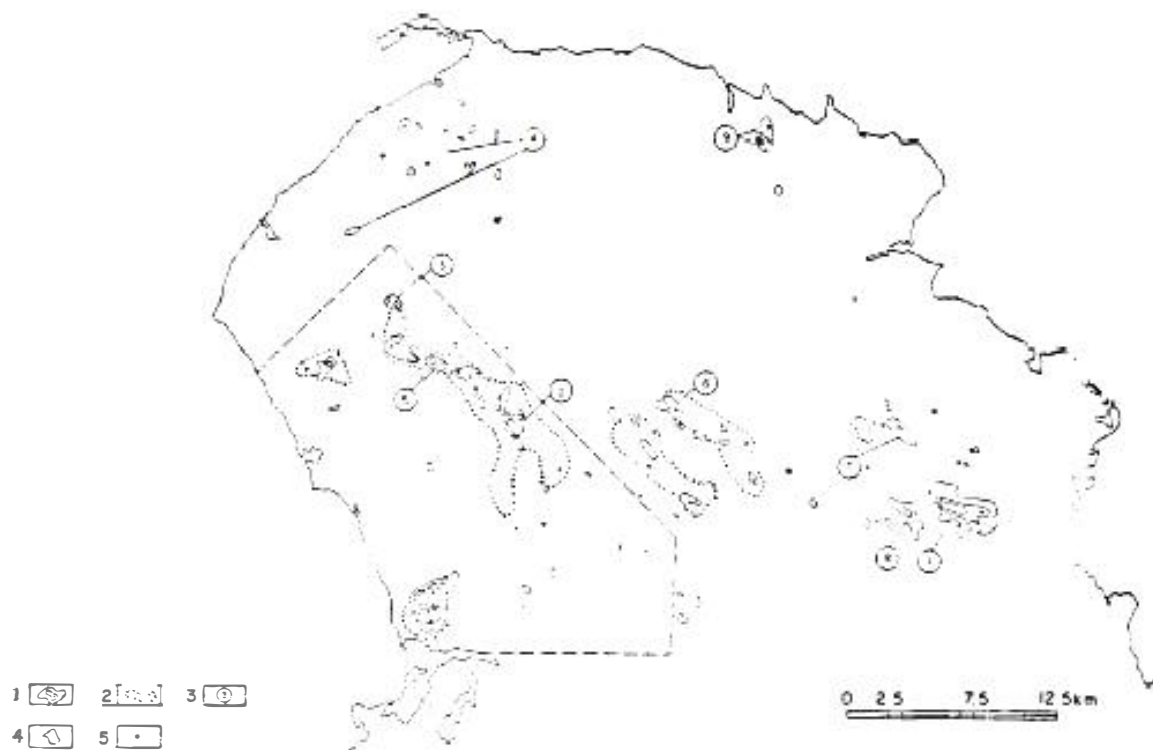


FIG. 2. Esquema de los sectores perspectivas para la búsqueda de la mineralización metálica endógena en la Isla de la Juventud. Escala 1:250000. 1. Zona de coincidencia de dos o más índices, resultado del pronóstico; 2. Zona de anomalías aerogammaespectrométricas de naturaleza K-U (metalífera); 3. Sector perspectivo y su número en el catálogo; 4. Límites del área de experimentación; 5. Yacimiento.

la columna 5, indica, en el caso de la zona de Sabana Grande, la ausencia de correspondencia espacial precisa de los tres índices considerados (hecho que se atribuye al carácter aproximado del índice Hres para esta región); y para el caso de los sectores de Cañada y San José, la pérdida de la correspondencia espacial de los cuatro índices considerados, con el cambio de umbral de los de ellos ( $K \times U, \Delta T_{10}$ ).

Para la determinación de los sectores perspectivas se tuvo en cuenta, además, las dimensiones areales de las anomalías complejas, obtenidas como resultado del pronóstico.

*Elaboración del mapa de productividad real de la mineralización metálica conocida según los datos de la investigación precedente*

Con el propósito de establecer la tendencia en la distribución espacial de la mineralización metálica conocida en el territorio, a fin de compararla con los resultados del pronóstico regional, se elaboró el mapa de productividad real de la mineralización según la experiencia de Skoseriev *et al.* (1981). Como base material se utilizó el mapa de yacimientos, manifestaciones y puntos de mineralización, del levantamiento

TABLA 1. *Catálogo de sectores perspectivas para la búsqueda de la mineralización metálica endógena en la Isla de la Juventud.*

Sector	Coordenadas del centro	Complejo de índices	Perspectividad (%)	Elementos indicadores
San Juan	X: 328 000 Y: 207 500	K x U, Geoq, Hres, $\Delta T_{10}$	100	Co, Ni, Cu <sup>(a)</sup> , Pb.
Cañada	X: 301 500 Y: 212 500	K x U, Geoq, Hres $\Delta T_{10}$	(100)	Cu, Zn <sup>(a)</sup> Pb, Ag, Au
San José	X: 214 500 Y: 319 500	K x U, Geoq, Hres, $\Delta T_{10}$	(100)	Sn, Cu <sup>(b)</sup> , Zn Pb, Ag, As, Sb.
Sabana Grande	X: 297 000 Y: 229 000	Geoq, Hres, $\Delta T_{10}$	(100)	Co <sup>(a)</sup> Mo, Sn, Cu <sup>(ac)</sup> Pb, W <sup>(a)</sup> Au, Sb
Cristal	X: 297 000 Y: 216 000	K x U, Geoq, Hres	83	W <sup>(ac)</sup> , Sn, Cu, Zn, Pb.
Mal País	X: 311 000 Y: 213 500	K x U, Geoq, Hres	83	Sn, Cu, Zn, Pb.
Guayabo	X: 321 500 Y: 212 500	K x U, Geoq, Hres	83	Ni, Cu, Zn, Pb.
Santa Isabel	X: 324 500 Y: 207 500	Geoq, Hres, $\Delta T_{10}$	63	Co, Mo, Ni, Cu <sup>(a)</sup> , Pb, Zn.
Nueva Gerona	X: 216 000 Y: 230 000	Geoq, Hres, $\Delta T_{10}$	63	Sn, Cu, Zn, Pb.

Manifestación mineral según: (a) Garapko *et al.*, 1974; (b) Ananim *et al.*, 1976; (c) Sánchez *et al.*, 1984.

geológico a escala 1:100 000 (Garapko *et al.*, 1974). Para su elaboración, se asignaron los siguientes coeficientes de peso (Pardo y Díaz, en prensa b):

punto de mineralización	0,5
manifestación	1,0
yacimiento	2,0

La superficie de la celda elemental de la red de estudio, se estimó empíricamente,

( $S = 6,25 \text{ km}^2$ ), de modo que como promedio encerrara las agrupaciones aisladas de manifestaciones y puntos de mineralización. Posteriormente se determinó para cada celda, la densidad de manifestaciones y puntos de mineralización (por unidad de superficie), y se trazaron las isolíneas correspondientes. El mapa resultante se presenta en la Fig. 3.

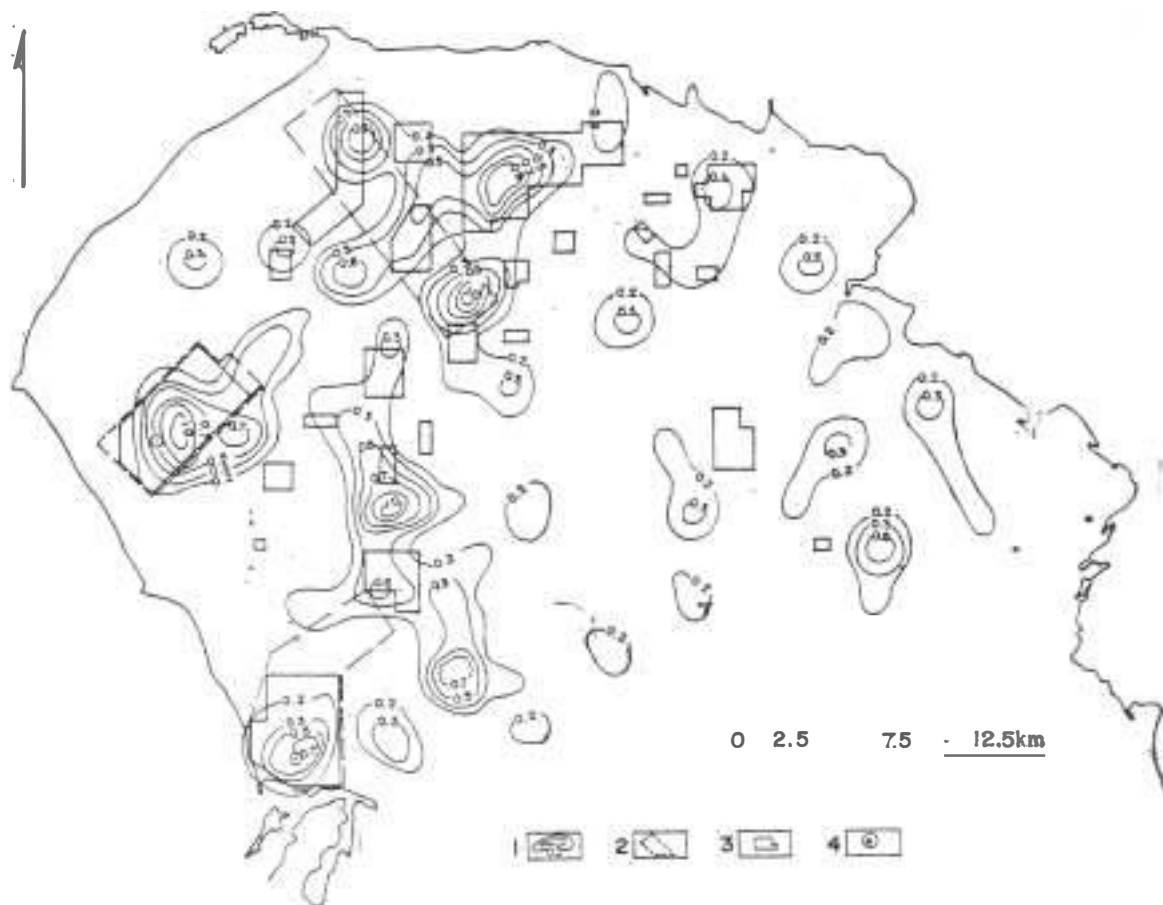


FIG. 3. Esquema de la distribución de la mineralización metálica y de los sectores perspectivas en la Isla de la Juventud, según la investigación precedente. Escala 1:250 000. 1. Isolineas de densidad de manifestaciones y puntos de mineralización por  $\text{km}^2$ ; 2. Sectores recomendados para la búsqueda; 3. Areas concedidas para la búsqueda en el período prerrevolucionario; 4. Yacimiento.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados del pronóstico regional, presentados en la Fig. 1, reiteran, al parecer, el probable vínculo de las particularidades metalogénicas, con el patrón estructural del macizo dado por un domo regional elíptico (Pardo *et al.*, en prensa *c*). Los sistemas de dislocaciones tectónicas que corresponden a la tendencia radial de las zonas anómalas establecidas, se observan en superficie, solamente de modo parcial, da-

da su probable pertenencia a un piso estructural mucho más profundo (presumiblemente el basamento cristalino). El ambiente de intenso tectonismo en la parte central del macizo, donde convergen numerosas fracturas regionales, al parecer no favoreció la deposición menífera, dada la ausencia de signos de mineralización en esta área. A juzgar por los resultados del pronóstico, la mineralización metálica en-

dógena tiene lugar preferentemente en el flanco sur del macizo, ocupado por la megantiforma de primer orden Los Indios, la cual presumiblemente sirvió de gigantesca trampa estructural, impidiendo el escape de los volátiles y de las soluciones hidrotermales. El papel de las estructuras plegadas de orden inferior (antiformas y sinformas), como posibles controladoras de la mineralización, no queda del todo claro. Al parecer el control se limita preferentemente a los flancos, cierres periclinales, y flexiones bruscas de las capas.

En la depresión grabenoide Sabana Grande, la cual caracteriza, supuestamente, la zona de deposición menífera "cerca de la superficie" (Pardo, en prensa *a*), los resultados del pronóstico (Fig. 1) indican en el sector "El Capitán" una deposición anular concéntrica de las anomalías complejas, la cual se relaciona, probablemente, con una estructura vulcano-plutónica. Los datos relativos a las anomalías geoquímicas y a las manifestaciones minerales descubiertas en el sector (Garapko *et al.*, 1974) indican la presencia de mineralización del mismo tipo que la observada en los yacimientos de Delita y Lela. Otras estructuras importantes que pueden ser controladoras de la mineralización en la región, son las zonas tectónicas Sabana Grande, y La Fe, con las cuales se relacionan respectivamente, los sectores anómalos de West Port y Las Nuevas.

Como resultado del presente trabajo se determinaron también los sectores más перспекivos para la búsqueda de la mineralización, y se estableció el orden de su prioridad en función de la efectividad geológica de los índices considerados (Fig. 2 y Tabla 1). La mayoría de estos sectores, fueron revelados durante el levantamiento geológico a escala 1:100 000, (Garapko *et al.*, 1974) encontrándose la mineralización metálica dispersa de poca importancia:

San Juan (Cu); Cañada (Au); West Port (W); Cristal (W); y Santa Isabel (Cu). Análogamente, durante la búsqueda detallada a escala 1:10 000 en el área del yacimiento Delita, fue descubierta la manifestación de Cu en el sector San José, la cual fue recomendada para su evaluación ulterior (Ananin *et al.*, 1976). Teniendo en cuenta estos datos, y considerando los resultados del pronóstico, debe esperarse en estos sectores la presencia de mineralización ciega con profundidad mayor o igual a 50 m.

El complejo de investigación que se recomienda para la evaluación de los sectores anteriores se argumenta en la clasificación de los modelos físico-geológicos "a priori" de la mineralización en la región (Pardo, en prensa *a*), y contempla la combinación de métodos de búsqueda superficial y profunda:

a) Para la zona "cerca de la superficie" (Sabana Grande):

—Magnetometría de área en escala 1:10 000.

—Polarización inducida en perfiles.

—Perforación de mapeo, y litogeoquímica primaria, en las redes 400 x 800 (200 x 400) m.

—Perforación de búsqueda hasta la profundidad de 200 m.

b) Para la zona "subvolcánica" (territorio restante del macizo):

—Polarización inducida en perfiles.

—Litogeoquímica primaria (barrenos o pozos de mapeo) en las redes 400 x 800 (200 x 400) m.

—Perforación de búsqueda hasta la profundidad de 200 m.

Del análisis de la Fig. 3, se observa una buena correspondencia entre los sectores concedidos para la búsqueda en el período prerrevolucionario y la tendencia en la distribución espacial de la mineralización co-



nocida. Sin embargo, al comparar esta última, con las regularidades metalogénicas establecidas en el esquema de pronóstico regional (Fig. 1), se observa semejanza sólo para la zona del núcleo de la Antiforma Río Los Indios (aproximadamente dentro de los límites del área de experimentación), donde el grado de estudio resultó mayor en la investigación precedente (Garapko *et al.*, 1974).

Finalmente, al vincular las regularidades metalogénicas del macizo con el posible origen de su estructura dómica regional, se puede proponer un modelo estructural-metalogénico, semejante en muchos aspectos

al planteado por Petrishevskiy (1985) para la región del Lejano Oriente. Este modelo supone un proceso profundo localizado de desdensificación estructural-material de la corteza que puede estar vinculado al reajuste isostático de la misma. Como consecuencia de este proceso pudo haber tenido lugar la granitización metamorfogénica del basamento cristalino, la acumulación del magma en cámaras, su hibridismo, diferenciación, y su posterior penetración en las grietas y fallas, a la cual se superpuso finalmente la inyección de volátiles y soluciones hidrotermales metalíferas.

## REFERENCIAS

- Ananin, V., *et al.* (1976): "Informe sobre los resultados de los trabajos de búsqueda-exploración realizados en 1973-1975 en el yacimiento aurífero Delita, Isla de Pinos" [inédito], Centro Nacional de Fondo Geológico, La Habana.
- Anónimo. [s. f.]: "Concession map- Isla de Pinos district" [inédito], Centro Nacional de Fondo Geológico, La Habana.
- Buguel'skiy, Y., O. Vázquez, *et al.* (1985): *Yacimientos de minerales útiles de Cuba* [en ruso]. Editorial Nauka, Moscú, 263 pp.
- Garapko, I., *et al.* (1974): "La composición geológica y los minerales útiles de Isla de Pinos; informe sobre el levantamiento geológico y las búsquedas a escala 1:100 000 realizado en 1971-1974" [inédito], Centro Nacional de Fondo Geológico, La Habana.
- Kuman, V. E., y R. R. Gavilán (1964): Geología de Isla de Pinos. *Rev. Tecnol.*, 3(4):20-38.
- Lisitsin, A. I. (1970): Tipos genéticos y regularidades en la ubicación de los yacimientos minerales útiles de Cuba. *Rev. Tecnol.*, 8(1):3-27.
- Liubi, L. I., *et al.* (1984): "Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo realizado en la Isla de la Juventud en 1983" [en ruso; inédito], Centro Nacional de Fondo Geológico, La Habana.
- Millán, G. (1979): "Esquema geológico y tectónico del macizo metamórfico de la Isla de la Juventud en escala 1:100 000" [inédito], Instituto de Geología y Paleontología, La Habana.
- (1981): Geología del macizo metamórfico de la Isla de la Juventud. *Cien. Tierra y Espacio*, 3:3.22.
- Pardo, M. E. [en prensa a]: "El uso del modelaje físico-geológico en el pronóstico de minerales sólidos, Un ejemplo: Isla de la Juventud", Editorial Academia, La Habana.
- Pardo, M. E. y M. Díaz, [en prensa b]: "Métodos cuantitativos de pronóstico aplicados a las investigaciones metalogénicas. Un ejemplo: Isla de la Juventud", Editorial Academia, La Habana.
- Pardo, M. E., *et al.* [en prensa c]: "Nuevos datos sobre la estructura geológica de la Isla de la Juventud en base a la interpretación de los datos geofísicos y geomorfológicos; constitución profunda del macizo metamórfico", Serie Geológica CIG, La Habana.
- Pardo, M. E., *et al.* [en prensa d]: "Nuevos datos sobre la estructura geológica de la Isla de la Juventud en base a la interpretación de los datos geofísicos y geomorfológicos; estructura interna del macizo metamórfico", Serie Geológica CIG, La Habana.

- Petriscevskiy, A. M. (1985): Sobre los granitos, la granitización y la naturaleza de la desdensificación regional de la corteza terrestre en el Lejano Oriente [en ruso]. *Geotectónica*, 5: 80-90.
- Semeonenko, N., *et al.* 1980): "Informe final sobre la exploración orientativa con el cálculo de reservas del yacimiento de oro, Delita, Isla de la Juventud" [inédito], Centro Nacional de Fondo Geológico, La Habana.
- Skoseriev, V., *et al.* (1981): "Informe final del tema 5707: Metalogenia de la provincia de Pinar del Río; parte geofísica" [inédito], Instituto de Geología y Paleontología, La Habana.
- Vanoček, M. (1982): "Concepciones metalogénicas y pronóstico de los yacimientos de materias primas minerales" [inédito], conferencia, ĪSPJAE, MES, La Habana.

*Ciencias de la Tierra y del Espacio, 15 y 16, 1989*

**METALLOGENIC REGULARITIES AND ITS FORECAST IN THE ISLA DE LA JUVENTUD MASSIF**

Manuel PARDO ECHARTE

**ABSTRACT.** *As a result of the regional metallogenic forecast from geophysical, geochemical and geomorphological data, the probable link of the endogenic metallogenical regularities with the structural pattern of an elliptical regional dome at the Isla de la Juventud massif is confirmed. The mineralization is located within the fracture systems, presumably developed during the evolution of the refered cupular structure, with preference on its meridional flank, following "Los Indios" megantiform trend. The intense tectonic ambient at the central part of the massif, conditioned by the convergence of numerous regional faults, seems not to be favourable for the ore deposition, due to the lack of mineralization in this area. The most perspective sectors for searching the mineralization have been determined and the order of its priority is established, from the geological effectiveness of the indexes participating in its location.*