

ELEMENTOS DE LAS TIERRAS RARAS, ELEMENTOS DEL GRUPO DEL PLATINO Y OTROS RAROS Y DISPERSOS: PRINCIPALES TIPOS GENÉTICOS DE DEPÓSITOS Y POSIBLES ÁREAS DE PROSPECCIÓN EN EL TERRITORIO NACIONAL. **Parte II**

Xiomara Cazañas Díaz, Jorge Luis Torres Zafra, Waldo Lavaut Copa, José Antonio Alonso Pérez, Angélica Isabel Llanes, Rosa Cobas Botey

METALES RAROS Y DISPERSOS (ERD)

Existen otros elementos metálicos, no incluidos en el término “tierras raras”, que si resultan poco abundantes en la corteza terrestre, y se concentran en determinados minerales asociados a ciertos tipos de modelos de depósitos. Por esta razón se les denomina “metales raros y dispersos” (ERD). Varios de ellos son de gran importancia para la obtención de productos de alta tecnología y, en consecuencia, son considerados “estratégicos” por varios Servicios Geológicos. Los principales son: galio (Ga), germanio (Ge), indio (In), litio (Li), niobio (Nb), tántalo (Ta) y wolframio (W).

Metales raros (y dispersos) son aquellos cuya concentración en depósitos minerales es baja. Varios de esos metales son claves en la industria de la información y las comunicaciones, así como en la eléctrica, tales como Sb, In, Ga, Ge, Se, Ta, EGP y Au. Esta combinación de rareza y campo de aplicación hace que sean materiales de alto precio. Los elementos del grupo del platino (EGP) e analizan aparte en el presente documento, por lo que no son tratados en el presente acápite.

En el presente año 2015, el Servicio Geológico de los E.U.A (USGS)²⁷ realizó un estudio sobre el W. En él se señala que en los últimos 5 años decreció la producción mundial de este elemento, con un aumento simultáneo de la demanda, lo cual provoca la correspondiente elevación de los precios de la tonelada de dicho metal. Por esta razón, el USGS recomienda invertir más en la identificación de nuevos recursos de este importante elemento.

Principales usos de los metales raros y dispersos

Ga (galio): El GaAs es utilizado en circuitos integrados (chips y microchips), láseres, diodos, foto-detectores, y celdas solares, mientras que el GaN es empleado en la producción de LEDs y diodos láseres azules y violetas, utilizados en reproductores DVD blue ray. El Ga metálico es usado en termómetros de alta temperatura y en ciertas aplicaciones dentales, frecuentemente como sustituto del mercurio.

Ge (germanio): producción de semiconductores, vidrios especiales y catalizadores.

In (Indio): electrodos transparentes de óxido de In-Sn (74 % de la producción total) para pantallas de cristal líquido (LCD), El 35 % restante se emplea en la obtención de películas delgadas para capas lubricantes, recubrimientos de alto rendimiento en aviación, piezas metálicas para diversos tipos de agregados, semiconductores, diodos láseres, vidrio arquitectónico y para pantallas de viento, como fundente, aleaciones ferrosas, sustancias anticorrosivas, aplicaciones dentales, en el control de reactores nucleares. Se usa en soldaduras libres de plomo y en criogenia (refrigeración a muy bajas temperaturas).

Li (litio): aleaciones ligeras, fundente en la industria cerámica y metalurgia del aluminio, coladas continuas, aditivo lubricante, procesos químicos, producción de baterías, polímeros, catalizador en la producción de gomas Se emplea en la industria nuclear y en medicina (industria farmacéutica).

Nb (niobio): aceros inoxidable de alta calidad. Aleaciones de alta temperatura y para usar dentro de reactores atómicos.

Sc (escandio): tecnología nuclear, dispositivos de iluminación y cristales laser.

Ta (tántalo): usos similares a los del Nb; en catalizadores, condensadores, cátodos, tecnología médica (implantes e instrumental).

W (wolframio): aleaciones duras de W (WIDIA), ferro-W, aceros inoxidable, filamentos de W y aplicaciones termoiónicas, coronas de perforación, materiales cerámicos, aleaciones con titanio (Ti).

Te, In, Ge y Ga, Se, Cd se usan en la fabricación de celdas fotovoltaicas (paneles solares) De ellos, Te, Ga e In son claves en esta esfera de las energías renovables (Woodhouse *et al.*, 2013).

Contenidos mínimos industriales

Galio (Ga): El galio es recuperado durante la refinación de aluminio a partir de bauxitas, ampliamente distribuidas por todo el planeta. Grandes depósitos de bauxita se encuentran en Australia, Guinea, Brasil, Grecia y China, estando estos países, con la excepción de Grecia, entre los líderes mundiales en el abastecimiento de aluminio en el 2010. Durante la producción de aluminio por el proceso Bayer, el galio, que se encuentra en las menas bauxíticas en concentraciones promedio de 50 ppm, es extraído de la solución de cruda hidróxido de aluminio, el cual es entonces purificado a través de la extracción con solventes y/o por intercambio iónico, hasta alcanzar una pureza superior a 99,9999. Después de purificado, el Ga se usa para sintetizar arseniuros (GaAs) y nitruros de Ga (GaN), que son los productos generalmente comercializados.

Actualmente, menos del 10 % del Ga contenido en las bauxitas es recuperado, principalmente la falta de equipamiento para su extracción en muchas fundiciones de aluminio (Moss, *et al.*, 2011). Además, el Ga e obtiene

de cenizas de carbón mineral y de subproductos de la obtención de Al (aluminio). Alguna cantidad se recupera también durante la refinación de Zn (Japón).

La producción mundial de Ga en el 2010 se estimó en 106 toneladas, procedentes, en lo fundamental, de China, Alemania, Ucrania y Kazajistán. Hungría, Rusia y Eslovaquia también contribuyen en menor medida al abastecimiento mundial (Moss, *et al.*, 2011). Sin embargo, unas 79 toneladas adicionales de Ga proceden del reciclado de scraps (granalla) en plantas de USA, Reino Unido y Japón.

Indio (In): Se obtiene como subproducto del beneficio y metalurgia de las menas polimetálicas, particularmente del Zn. Casi todo el In comercial se obtiene durante la refinación del Zn, aunque también ocurre en depósitos de Cu, Pb y Sn, pero generalmente en niveles subeconómicos. Aún en concentrados de Zn, su contenido es muy bajo. En Kidd Creek, Ontario, Canadá, el contenido de In en el concentrado es de 0,027 % en peso (270 g/t); en Polaris, Canadá, el concentrado es de 0,010 % (100 g/t), y en Balmat (N. York, USA) es de 0.004 % (40 g/t), de acuerdo con Jorgenson and George (2005)¹⁴. Los contenidos de In en mena, en consecuencia, pueden ser tan bajos como 3 ppm, aunque más comúnmente el In se extrae con más de 50 ppm. El yacimiento Toyoha (Japón), con una ley promedio en mena de 140 ppm de In, se considera entre los más ricos del mundo.

De acuerdo con el Öko Institut for UNEP (2009), alrededor de 0,028 kg de In son recuperados por cada tonelada de menas de Zinc procesada.

La mayoría de las compañías mineras producen concentrados de In de baja pureza que venden a los refinadores. La demanda de este metal está creciendo rápidamente. El consumo de In en USA fue de 58 t en el año 2005. La reserva base mundial de In se estima en 5700 t de metal (Jorgenson and George, 2005)¹⁴.

El In es producido de los residuos colectados de la refinación del Zn y del reciclado de los flujos de polvos y gases generados durante su fundición bajo reducción electrotrémica y tratamiento electrolítico. Este último produce lodo anódico con hasta 30 % de In. Luego el In es refinado usando extracción por solventes y procesos de electro-refinación por etapas, hasta obtener In metálico con 99,99 % de pureza.. La eficiencia de recuperación de las capacidades instaladas en refinérias se estima en un 55 % del contenido de In, aunque en algunos casos este puede alcanzar el 70 %, acumulándose el resto en los residuos (Moss, *et al.*, 2011).

El USGS estima la producción mundial de In virgen (primario) del 2010 en 574 toneladas, de las cuales 300 t procedieron de China, lo cual es consistente con su posición de líder mundial en la producción de Zn (Moss, *et al.*, 2011), seguido por Corea del Sur, Japón y Canadá. La mayor parte de abastecimiento mundial de In procede actualmente del reciclado de productos usados. Es importante destacar que, desde el punto de vista de la producción de Zn, el In y otros subproductos son esencialmente "impurezas" que deben ser separadas del producto durante el proceso metalúrgico de refinación y que altas concentraciones de tales impurezas no son necesariamente deseables. Sin embargo, cuando el equipamiento para la extracción (recuperación) del In es instalado, este subproducto puede producir valiosos ingresos monetarios.

W: 0,2 % – 0,4 % de WO_3 . Contenidos de Au, Ag, Sc, Ta, Nb, incrementan el valor de la mena. Contenidos de Sn > 1,5 %; As > 0,2 %; P > 0,03 %; S > 0,3 %; Cu, Pb, Sb y Mo, en altas cantidades, reducen el valor de la mena.

Niobio y Tántalo (Nb – Ta): La columbita y el pirocloro en rocas duras, requieren más de 0,5 % de óxidos de Nb y Ta para considerarse de valor económico (producto principal). En China, Rusia y Kazajistán se obtiene como subproductos de menas y se recuperan de colas y residuos.

Litio (Li): Se consideran recuperables concentraciones mayores de 0,5 % de LiO_2 en salmueras salinas.

Precios de los ERD

Salvo raras excepciones, los metales raros y disperses (también llamados "metales menores") son obtenidos como subproductos durante el proceso de obtención de productos principales, frecuentemente metales base (Cu, Zn, Pb). In embargo, la dinámica entre metales primarios y menores (principales y subproductos) es la llave para la comprensión del mercado de la mayoría de los metales menores, que incluso confunde a muchos especialistas, llevándolos a adoptar premisas inadecuadas y a presentar conclusiones erradas.

Como subproducto, el abastecimiento de metales menores (Cd, Ge, In, Ga, Te y otros) depende fuertemente de la producción de metales primarios (llamados metales *carriers* en el argot comercial) y por ello, el comportamiento del mercado de estos metales principales influye marcadamente sobre la disponibilidad de metales subproductos. Esta es la causa por la cual el mercado de los productos principales (metales base en nuestro caso) guía a los tomadores de decisiones en lo que al ritmo de las extracciones se refiere.

La recuperación de Ga, In y Te depende de las concentraciones de estos metales en los concentrados de menas que abastecen a la refinéria. Sin embargo, otros factores han de ser también considerados, como cuan fácil resulta o no la recuperación, la disponibilidad de contratos de abastecimiento a largo plazo, el grado de seguridad de ese abastecimiento y los costos de transportación. Otro factor importante a tener en cuenta es que muchos refinadores consideran los mercados de subproductos como una distracción de sus negocios principales y se muestran reacios a invertir tiempo, dinero y esfuerzo en involucrarse en nichos de mercados volátiles, de pequeña escala y transparencia, aun cuando los niveles de precios son atractivos. En muchos casos, las compañías refinadoras

se preocupan por el impacto que puede producir la recuperación del subproducto en el delicado y cuidadosamente calibrado proceso de refinación del producto principal.

Los expertos de la industria estiman el costo de la instalación de una unidad de extracción de In en el rango de los 50 millones de euros y el de una unidad de extracción de Ga en alrededor de 20 millones de euros aproximadamente (Moss, *et al.*, 2011).

Tabla 5. Precios de metales según el USGS (2006)*

Metal	Precio 2001 (USD/kg)	Precio 2004 (USD/kg)
Cd	0,5	1,2
Ce		14,890
Ga	640	494
Ge	890	600
Au	8,745	13,214
Hf	138	269
In	120	643
Rb		10,850
Sc	2,700	2,500
Se	8	55
Ta	82	68
Tl	1,295	1,600
Nb	15,2	14,5
Co	24	53
Sb	1,4	2,9
Cd	0,5	1,2

*En la tabla se han incluido otros elementos de alta demanda y relativamente poco abundantes para que sirvan de referencia comparativa.

El precio de In metálico (99,99 % de pureza) alcanzó los \$980 USD/kg en el 2006 (USA National Academy of Sciences, 2007), para caer a 500 USD/kg en el 2010 (Moss *et al.*, 2011). El año 2014 comenzó en 675 USD/kg, oscilando entre \$745 USD/kg y 755 USD/kg entre febrero y marzo. Luego bajó lentamente hasta situarse el primero de diciembre del 2014 en 700 USD/kg (NMV, Inventory & Metal Bulletin's Price of 99.99% Purity Indium).

Entre el 2007 y el 2012 el precio del Ga metálico con 99,99 % de pureza promedió \$ 500 USD/kg., con un máximo de 688 USD/kg en el 2011. Durante el 2012 cayó fuertemente, hasta situarse a inicios del 2013 en 280USD/kg. Durante el 2014 continuó declinando lentamente pasando de \$270 en

Enero a \$240 USD/kg en septiembre (US Geological Survey, 2015a).

El precio del Ge alcanzó un máximo de 1450 US\$/kg en el año 2011, con valores superiores a los 900 UDS/kg desde el año 2007 en adelante. El 2014, comenzó con \$1,900/kg de Ga metálico (88,88 % de pureza) incrementándose a \$1,950 USD /kg en marzo, para situarse en \$1,900 USD/kg en Octubre (US Geological Survey, 2015b). Hasta junio del 2015 se mantuvo cerca de esa cifra, para declinar luego, situándose en Octubre del 2015 en \$1,760 UDS/kg (US Geological Survey, 2016).

En el anexo 1 se ofrecen los precios actualizados de metales menores según el Shanghai Metals Market.

Principales modelos de depósitos para In, Ga, Ge, Sc y W en Cuba

A partir de los modelos de depósitos que existen en el mundo, en Cuba se pueden encontrar los siguientes tipos:

1. SEDEX subtipo Selwyn
2. VMS silicoclástico máfico
3. Vetas de W
4. Fe - Ni - Co (con Sc) en lateritas

Los dos primeros modelos de depósitos se localizan en la provincia Pinar del Río. En el caso de los SEDEX, contenidos de interés se

reportan en el depósito Nieves (figura 9), con 0,3 ppm - 3 ppm de In. Igualmente, se conoce de la existencia de anomalías geoquímicas de In y Ge de posible interés en las menas del depósito Santa Lucía (figura 10). En este sentido, los resultados de mayor relevancia disponibles hasta el momento, son los obtenidos para los residuos industriales del proceso tecnológico de tostación de sulfometales, donde se reportan contenidos industriales de Au y Ag en la mayoría de las muestras (61) tomadas recientemente, teniendo más de la mitad de las muestras contenidos de In superiores a 3 ppm.

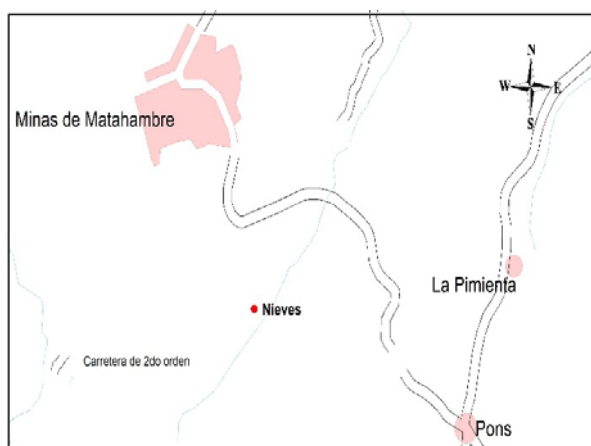
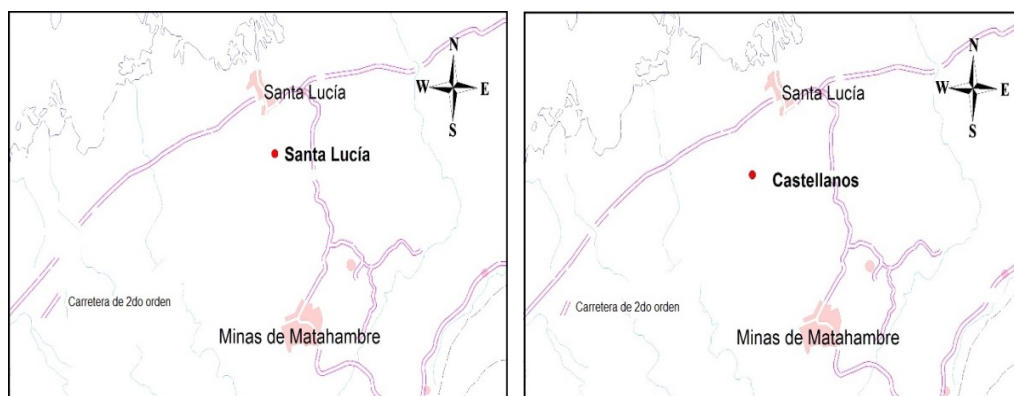


Figura 9. Mapa de ubicación del yacimiento de sulfuros tipo SEDEX “Nieves” (X: 198 200 Y: 306 800), Municipio Minas de Matahambre, provincia de Pinar del Río (Sistema de Coordenadas Cuba-Norte)

Los resultados del estudio del comportamiento tecnológico de ERD realizado por Álvarez-Alonso, Saito y Yasuoka (1991)¹ a escala laboratorio a muestras tomadas en los depósitos de Pinar del Río y otras partes de Cuba son de gran importancia, por tratarse, por un lado, del único estudio de esa clase realizado en la temática el país y, por el otro, por los valores significativos (resaltados en negrita), que pudieran ser de importancia económica, revelados. En todas las tablas S-0 identifica a la mena (material de cabeza) y las

concentraciones presentes en ellas. Igualmente, en todas las tablas (desde la 6 hasta la 12) la letra S significa sólido y L licor

Las tablas No 6 y 7 muestran el contenido de estos elementos en las muestras de mena de Hierro Mantua, procesada en ese estudio por la tostación sulfatante y por la cura ácida respectivamente. En ellas se aprecia la presencia de los elementos en diferentes puntos de estos procesos.



Figuras 10 y 11. Mapa de ubicación del yacimiento de sulfuros polimetálicos tipo SEDEX “Santa Lucía” (X: 195 830 Y: 315 710) y “Castellano” (X: 194 000 Y: 315 000), Municipio Minas de Matahambre, provincia Pinar del Río (Sistema de Coordenadas Cuba-Norte)

Tabla 6. Distribución de los elementos de interés para la mena de Hierro Mantua por tostación sulfatante (en ppm).

No del punto	Ga	Ge	In	Tl
0-S (mena)	31,75	42,56	85,73	390,34
1-S	36,85	33,94	122,65	323,25
2-S	38,63	68,73	18,63	256,56
3-S	41,42	69,32	20,50	224,99
4-S	40,85	76,84	21,30	256,33
5-S	41,41	56,41	3,59	192,28
6-S	37,64	42,45	1,36	296,54
7-S	0,00	16,13	104,21	137,27
8-S	74,03	66,33	41,73	515,93
1-L	1,62	16,08	6,27	10,49
2-L	2,57	14,34	15,57	37,19
3-L	0,00	0,08	1,31	2,46
4-L	3,30	14,89	20,58	49,35

Tabla 7. Distribución de los elementos de interés en mena de Hierro Mantua por cura ácida (en ppm).

No del punto	Ga	Ge	In	Tl
0-S (mena)	31,75	42,56	85,73	290,34
1-S	28,09	29,31	6,10	224,25
2-S	4,16	8,88	90,90	151,01
1-L	2,09	15,99	14,27	26,97

Las tablas 8 y 9 muestran el contenido de los elementos en las menas de Cu de Matahambre y Mina Grande de El Cobre respectivamente. El resultado más importante en este caso es el alto contenido de In y Tl en los concentrados de Cu (muestras 1-S), los que sugieren que podría ser posible la recuperación de estos elementos durante el proceso de refinación del el Cu.

Tabla 8. Distribución de elementos en Matahambre (en ppm).

No del punto	Ga	Ge	In	Tl
0-S (mena)	44,84	14,72	71,59	253,24
1-S	37,00	34,75	120,75	385,90

Tabla 9. Distribución de los elementos en la mena de Mina Grande del El Cobre (en ppm).

No del punto	Ga	Ge	In	Tl
0-S (mena)	20,32	89,22	39,20	131,02
1-S	42,59	66,84	212,18	397,76
2-S	22,27	16,31	54,51	0,00

En las tablas 10 y 11 están los resultados obtenidos para la mena polimetálica de Santa Lucía y cuando esta se procesa mediante tostación sulfatante y por vía hidrometalúrgica respectivamente.

Tabla 10. Distribución de elementos de interés para la mena de Santa Lucía por tostación sulfatante.

No del punto	Ga	Ge	In	Tl
0-S (mena)	59,82	48,88	3,90	492,43
1-S	98,57	64,45	16,41	686,76
2-S	56,37	54,71	14,29	522,17
3-S	10,97	10,45	76,58	153,80
4-S	72,65	38,34	53,40	973,90
5-S	29,14	21,75	21,70	189,19
1-L	3,43	22,59	13,81	47,85
2-L	2,93	13,44	4,34	189,80

Tabla 11. Distribución de elementos de interés para la mena de Santa Lucía por hidrometalurgia.

No del punto	Ga	Ge	In	Tl
0-S (mena)	59,82	48,88	3,90	492,43
1-S	51,60	14,13	6,43	134,47
2-S	19,75	10,46	0,00	8,80
3-S	49,69	46,66	2,69	507,84
4-S	35,18	46,64	0,00	423,69
5-S	59,70	46,05	0,00	531,87
1-L	9,76	5,33	25,16	56,81
2-L	2,18	4,25	13,44	18,35
3-L	24,60	8,76	55,82	122,90

La mena polimetálica de Castellano no fue estudiada tecnológicamente en esa investigación aunque presenta un contenido interesante de In.

Tabla 12. Distribución de elementos en la mena del yacimiento Castellano

No del punto	Ga	Ge	In	Tl
0-S (mena)	8,27	16,13	59,87	0,65

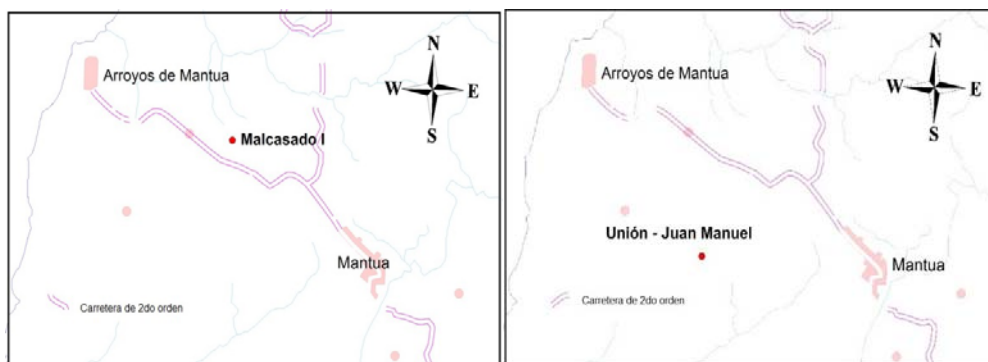
A la hora de valorar estos resultados, sin embargo, ha de tenerse en cuenta de que se trata solo una muestra por depósito, por lo que ellos solo indican, de modo orientativo, de que existe la posibilidad de recuperar EDR, principalmente In y Tl, a partir de menas polimetálicas y cupríferas cubanas, particularmente en el caso de las de los depósitos de sulfuros masivos de los tipos SEDEX y silicoclástico - máfico de la provincia Pinar del Río. Otro factor a tomar en consideración al respecto es que estos elementos no suelen distribuirse de modo más o menos homogéneo por todo el depósito mineral, sino que tienden a concentrarse más en algunas partes de ellos.

Dado que estos elementos (Ga, Ge, In y Tl) tienen afinidad geoquímica con los ambientes físico - químicos altamente reductores, el depósito con mayores perspectivas en este sentido parece ser Nieves, lo cual parece ser confirmado por los pocos datos disponibles al respecto.

Todo lo anterior hace altamente aconsejable la evaluación de los contenidos de ERD en los concentrados de ZnS (esfalerita) y PbS (galena), así como en los de Cu, que se pudieran obtener a partir de las menas polimetálicas y cupríferas pinareñas, al igual en los residuos (cenizas de tostación de la

pirita) acumulados en el antiguo complejo industrial sulfometales donde dichos elementos pudieran concentrarse mediante la aplicación de un esquema tecnológico apropiado, por ejemplo el de molienda-flotación propuesto en el CIPIMM por Montejo-Serrano *et al.* (2008)²⁰.

Para el segundo de los dos modelos mencionados, caracterizado por la presencia de Co en contenidos relativamente elevado en las menas, es posible también la presencia de EGP, dada la afinidad geoquímica existente entre S, Co y platinoides. Asimismo en la manifestación Malcasado I (Municipio Mantua, figura 12), el único pozo perforado reportó 0,1 - 1 % de Sr y 0,01 - 0,1 % de Y, valores que, sin ser elevados, ameritan ser verificados. El prospecto Unión - Juan Manuel (figura 13) reporta un pequeño número de muestras con 2 - 100 g/t de Ga; 0,5 - 30 (hasta 159) g/t de Nb; 0,5 - 100 g/t de La; 0,5 - 30 g/t de Y; 10 - 300 g/t de Ce, y 0,5 - 30 g/t de Sc. Estos valores, aunque por sí mismos carecen de importancia económica, aconsejan estudiar el comportamiento de estos elementos durante el procesamiento tecnológico de las menas, pues su concentración suficiente en uno o varios puntos del esquema tecnológico a aplicar para la obtención de Cu, Co, Au y Ag podría hacer posible su recuperación (y la de EGP si los hubiera).



Figuras 12 y 13. Mapa de ubicación de la manifestación Malcasado I (X: 156 750 Y: 281 450) y del prospecto Unión-Juan Manuel (X: 155 725 Y: 277 750) en el Municipio Mantua, provincia de Pinar del Río (Sistema de Coordenadas Cuba-Norte)

Como demuestra la tabla 9, esto también es válido para el caso del yacimiento El Cobre. Esto último sugiere que esta conclusión también es aplicable a todas las menas polimetálicas y cupríferas del país.

El tercer modelo de interés presente en Cuba es el de Vetas de W. En esta clase de depósito, el W puede estar acompañado por Au, Ag, Sc, Ta y Nb. En este sentido, Cuba dispone de un depósito de W (Lela), ubicado en la Isla de Juventud (figura 14). Este depósito se descubrió a inicios de 1900 y se explotó, pero la cuantía de la extracción fue

muy reducida. El grado de estudio actual del mencionado depósito corresponde a la sub-fase de Prospección, encontrándose sin delimitar y, en consecuencia, se desconoce sus verdaderas dimensiones e importancia. De acuerdo con el modelo genético al que este depósito responde, según el Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1: 250 000, recién concluido, el área del depósito es de interés para el descubrimiento de otros tipos de mineralización asociada (de Au y Mo entre ellas), lo que contribuye a aumentar la importancia económica del mismo. Por esta razón es recomendable su inclusión en el programa de desarrollo de la geología hasta el 2020.

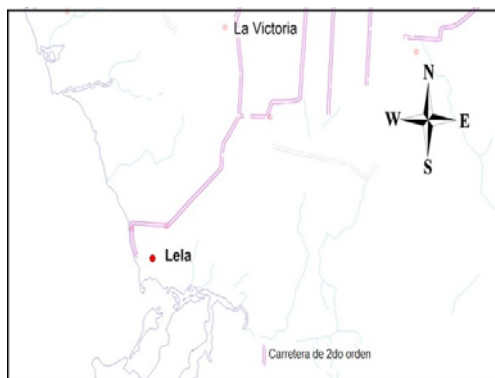


Figura 14. Mapa de ubicación del yacimiento “Lela” Municipio Isla de la Juventud (X: 295 910 Y: 200 500; Sistema de Coordenadas Cuba-Norte)

El cuarto modelo, correspondiente a los depósitos supergénicos de Fe-Ni-Co laterítico tiene gran importancia para Cuba. Con respecto al tema aquí tratado, existen evidencias de presencia de Au, Sc y EGP en ellas. Este punto aparece más desarrollado en la sección dedicada a la presencia de los elementos del grupo del platino en Cuba.

La información que se brinda tiene como objetivo actualizar en el conocimiento de los elementos raros y dispersos (ERD), dar a conocer que su aparición está relacionada con determinados tipos (modelos) de depósitos y mostrar la información existente acerca de la presencia de estos elementos en los depósitos

cubanos. La misma se considera de utilidad para la proyección estratégica futura de los objetivos de la actividad geológica, en aras de lograr un aprovechamiento racional de los recursos minerales.

Elementos del Grupo del Platino

Los elementos del grupo del platino (EGP), ocasionalmente llamados metales del grupo del platino o platinoideos, se encuentran representados por 6 elementos: rutenio (Ru), rodio (Rh), paladio (Pd), platino (Pt), osmio (Os) e iridio (Ir). Dichos elementos aparecen en la naturaleza en forma nativa y en aleaciones, también pueden estar presentes

en una gran variedad de minerales, alcanzando contenidos de importancia económica.

Generalidades de los Elementos del Grupo del Platino (EGP)

Los EGP exhiben características químicas y físicas distintivas, que los hacen favorables para su uso en muchas aplicaciones de la industria de alta tecnología (catalizadores, para vehículos, industria aeroespacial, medicina, electrónica y baterías, refinación de petróleo, entre otros). Aproximadamente el 20 % de los productos que se fabrican en el mundo contienen EGP, o se producen con estos elementos (Castor y Hedrick, 2006)³. Actualmente el mercado depende esencialmente de la producción de los yacimientos magmáticos de tres países: República Sudafricana, Rusia y Zimbabue.

Desde el año 2008 la Unión Europea estableció como un objetivo estratégico importante la búsqueda, exploración, producción y comercialización de los EGP, por su amplio uso en la industria europea de la alta tecnología, que ha ido incrementando sus demandas de materias primas de año en año.

Precios de los EGP

De acuerdo con el KPMG International Cooperative (2015)³⁵, en el año 2011 el platino alcanzó los 1800 USD/Oz para descender lentamente a 1380 USD/Oz a mediados del 2014. A partir de ahí y durante el 2015 bajó más pronunciadamente, para situarse en 1200 USD/Oz, tendencia que ha continuado, para caer por debajo de los 1000 USD/Oz a inicios del 2016. El paladio, en cambio, ha mostrado una tendencia lenta al ascenso, pasando de 420 USD/Oz a inicios del 2011 a 780 USD/Oz a inicios del 2015.

Sin embargo, el Mining.com; InciMine.com presenta niveles de precios diferentes. Así, según esta otra fuente, en febrero del 2016 los precios de los EGP fueron:

Paladio 514,50 USD/oz

Platino 936,00 USD/oz

Rodio 660,00 USD/oz

Rutenio 42,00 USD/oz

Tipos genéticos de depósitos de EGP en el mundo

Dill (2010)⁵ distingue los siguientes tipos genéticos de depósitos EGP:

Depósitos magmáticos de EGP

- Depósitos estratiformes de EGP-Ni-Cu en la parte basal de complejos básicos y ultramáficos.
- Depósitos de EGP-Cu-Ni hospedados en rocas volcánicas, relacionadas con rifts.
- Depósitos estratiformes de EGP ó EGP-Cu-Ni.
- Depósitos de EGP tipo alaskiano.
- EGP en depósitos de skarn y Cu porfírico.

Depósitos hidrotermales controlados estructuralmente

- Depósito de EGP ó EGP-U-Au de baja temperatura, relacionados con discontinuidades estructurales.
- Depósitos de Au-Pd relacionado con discontinuidades estructurales.
- Depósitos de Se-Sb-As-Hg-Cu-Ag-Au-Pd de baja temperatura, relacionados con discontinuidades estructurales.

Depósitos sedimentarios de EGP

- Depósitos supergénicos de Ni-Au-EGP laterítico.
- Depósitos de EGP (Au) tipo placer.
- Depósitos de EGP en carbones.
- Depósitos de EGP hospedados en turbiditas.

El avance del conocimiento geológico mundial, incluye evidencias documentadas de la movilización, precipitación y enriquecimiento de EGP en varios ambientes geológicos, no considerados tradicionalmente de interés para la exploración de estos metales nobles. De este modo se han identificado varios modelos de depósitos que pueden ser portadores de EGP. Ellos son: cromititas ofiolíticas, dunitas

negras, Cu - Ni orogénico, Cu - Mo porfírico, depósitos SEDEX, VMS silicoclástico - máfico, Cu - Co hospedado en sedimentos, depósitos lateríticos de Fe-Ni-Co y gossans.

En los últimos tiempos se ha estudiado el comportamiento de los EGP durante los procesos de meteorización, y se han descrito minerales del grupo del platino (MGP) *in situ*, dentro del horizonte limonítico de un perfil laterítico derivado de peridotitas ofiolíticas, lo que pone de manifiesto mecanismos de removilización y cristalización de los EGP en ambiente supergénico laterítico (independientemente del substrato), indicando que las lateritas de Fe-Ni-Co pueden ser consideradas una fuente potencial para la recuperación de EGP.

Las mayores concentraciones de EGP están asociadas sistemáticamente a procesos magmáticos y se han encontrado en ofiolitas tipo ZSS (zona de supra-subducción; Prichard *et al.*, 1999²³, Zhou *et al.*, 1998²⁹). A este tipo pertenecen las ofiolitas cubanas. Esta relación se basa en que en las ZSS, los EGP pueden ser movilizados del manto debido al alto grado de fusión que sufren las peridotitas, inducida por la presencia de agua, que se introduce en el manto durante la subducción de la corteza oceánica.

En relación al contenido mínimo industrial, se plantea que un contenido de 0,2 ppm de Pt puede ser de interés económico, particularmente si es acompañado en la mena por Os, Pd, Ru y Rh.

Modelos posibles a encontrar en Cuba

De los modelos de depósitos conocidos en el mundo, señalados con anterioridad, en Cuba se pueden encontrar EGP en los siguientes tipos de depósitos:

Depósitos supergénicos de Fe-Ni-Co-Au-EGP laterítico

Se trata de los conocidos depósitos de Fe - Ni - Co existentes en Cuba (y también en otros países). Estos depósitos lateríticos pueden

presentar, en determinados niveles de la corteza de intemperismo, contenidos importantes de Au, EGP y/o Sc. Estos contenidos también varían lateralmente, definiendo zonas enriquecidas dentro de los depósitos de este tipo. Más adelante, en el acápite 3.5.2 de este documento, se exponen los resultados analíticos que dan a conocer la presencia de EGP en lateritas cubanas. En la actualidad hay proyectos en ejecución que tienen el propósito de avanzar en la elevación del conocimiento geológico sobre este aspecto.

EGP (Au) en Cromititas

La presencia de Au y EGP en cromititas no es frecuente, pero existe. Ella tiene lugar cuando, bien durante la formación de los cuerpos minerales de Cr o posteriormente, se produce una interacción entre menas de Cr y fluidos ricos en S, que transportan Au y EGP. En Cuba oriental hay buenos ejemplos de este tipo de mineralización (ver acápite 3.5.1)

Depósitos de EGP (Au) tipo placer

Los EGP forman minerales pesados, por lo que pueden acumularse en placeres de cromita, formados a partir del transporte mecánico y redeposición de sedimentos lateríticos y de los procedentes de depósitos de cromitas erosionados, cuya presencia es conocida en Cuba (Cayo Guam y Tau). Desde el punto de vista geológico y de explotación, estos depósitos son similares a los placeres auríferos y de hecho, también puede haber Au nativo en ellos.

Depósitos de EGP hospedados en turbiditas (VMS silicoclástico - máfico)

Se basa en la afinidad geoquímica entre los EGP, el S y el Co en ambientes reductores (ricos en materia orgánica) presentes en la menas de sulfuros masivos y en la relación espacial y genética de los depósitos silicoclástico - máfico, compuestos por sulfuros masivos, con cuerpos ígneos máficos (de basaltos y gabrodiabasas), que constituyen

rocas fuentes de EGP y otros elementos químicos de transición siderófilos (Fe, Mn, V, Cr, Ti). Este magmatismo máfico se relaciona con el desarrollo del *rift* que dio lugar a la ruptura del súpercontinente Pangea y a la apertura del proto - Caribe y el Golfo de Méjico durante el Jurásico. Los depósitos de este tipo se caracterizan por el desarrollo de mineralización de piritas cobaltíferas con sulfuros de Cu, acompañados por Zn, Au y Ag. Por originarse en un ambiente físico – químico reductor, también pueden contener cantidades apreciables de EDR, como ocurre en el caso del yacimiento de Cu Hierro Mantua. Este tipo de depósito se presenta en la parte occidental de la provincia de Pinar del Río, siendo Unión – Juan Manuel (también en el municipio Mantua) otro ejemplo de este modelo.

Áreas favorables para la evaluación de EGP en Cuba:

EGP (Au) en Cromititas

La región oriental de Cuba, sobre todo en las provincias Holguín y Guantánamo, así como la de Bahía Honda, en la provincia Artemisa, muestra numerosas evidencias de la presencia de EGP y Au en las cromititas cubanas, hecho que está siendo investigado en una serie de proyectos propuestos para ejecutar en el marco del Programa de la Geología hasta el 2020.

Con anterioridad, el Instituto de Geoquímica y Química Analítica de la AC de la URSS (materiales de I. V. Veksler, citado por Distler *et al.* 1989)⁷ reportó en muestras de cromititas del depósito Merceditas (Moa) 0,02 g/t de Pt; 0,05 g/t de Pd; 0,08 g/t de Ru y 0,044 g/t de Au, así como 0,01 g/t de Ru; 0,02 g/t de Ir y 0,026 g/t de Au en el depósito Camagüey I-II (Camagüey). Posteriormente, Distler *et al.* (1989)⁷ obtuvo resultados de platino y paladio en muestras compósitas y de fragmentos de cromititas de varios depósitos de cromo de la región oriental del país (en g/t): Merceditas (0,05 g/t de Pt; 0,01 g/t de Pd); Amores (0,004 g/t - 0,06 g/t de Pt; 0,002 g/t - 0,4 g/t de Pd); Potosí (0,004 g/t de Pt; 0,001 g/t - 0,003 g/t de Pd); Caledonia (0,003 g/t - 0,006 g/t de Pt;

0,001 g/t - 0,07 g/t de Pd); Blas (0,004 g/t de Pt; 0,03 g/t - 0,04 g/t de Pd). Adicionalmente estableció la presencia de los minerales del grupo laurita-erlichmanita en las cromititas de los depósitos Merceditas, Amores, Potosí, Cayo Guam, Blas, Albertina, Caledonia y de las manifestaciones de Cajálbana y Habana-Matanzas. Adicionalmente, González-Jiménez *et al.* (2011)¹⁰ estableció en las cromititas de Sagua de Tánamo los siguientes minerales platiníferos: laurita, irarzita-hollinworthita, aleaciones y óxidos de Ru-Os-Ir-Fe-Ni- (Rh) e iridio (Ir). Como puede notarse, ninguno de estos contenidos alcanza el contenido de borde (más de 0,2 g/t de EGP total).

Informaciones más recientes a la antes referida (Proenza *et al.*, 1999²⁴; Gervilla *et al.*, 2005⁸) reportan contenidos de EGP en los depósitos de cromititas de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa, además en las cromititas ricas en Cr, representativas del distrito metalogénico de Mayarí y de una parte del distrito de Sagua de Tánamo, las que están enriquecidas en EGP (hasta 3.7 ppm). Plantean que de todos los depósitos estudiados, las cromititas que muestran los contenidos más altos en EGP son las del depósito Caridad (distrito de Sagua de Tánamo), las cuales presentan, sistemáticamente, contenidos totales de EGP > 1 ppm. También señalan que las cromititas ricas en sulfuros de Fe-Ni-Co del depósito Potosí en el distrito de Moa-Baracoa, muestran contenidos en EGP de hasta 1.1 ppm. Los citados autores concluyen señalando que dentro de la faja ofiolítica Moa-Baracoa, las mayores perspectivas para albergar concentraciones económicas de EGP se encuentran en las cromititas ricas en Cr que contienen (Ru, Os, Ir) y en las cromititas ricas en sulfuros, que contienen Pt y Pd, las que alcanzan valores totales de EGP > 1 ppm. Por consiguiente, estas se convierten en objetivos atractivos de exploración para estos metales nobles. Dados los altos precios del Pt, Pd y Rh con respecto al resto de los EGP, las cromititas ricas en sulfuros (tipo Potosí) serían un objetivo de exploración prioritario.

En la tabla 5 se comparan los contenidos de platinoideos determinados en las cromitas podiformes cubanas, con los resultados similares que se reportan de algunos importantes yacimientos en el mundo. Con independencia de que las muestras analizadas corresponden a un muestreo puntual y no son necesariamente representativas del promedio del depósito, en la tabla II puede observarse que la sumatoria total de EGP en Caridad (0,525 - 3,713 g/t) y Santa Isabel - Negro Viejo - Rupertina (0,22 g/t), se aproxima a la que se

reporta para Gynn Lake (Manitoba, Canadá), con 0,5 g/t) y Crillon - La Perouse, Alaska (con 0,2 g/t) y que también se acerca a los contenidos del yacimiento Sudbury (Ontario, Canadá), con 1,62 g/t. Se aclara que esta comparación es con respecto al contenido, no con relación al tamaño de los depósitos, un asunto muy diferente. Precisamente es el tamaño reducido de la mayoría de los depósitos cubanos de cromititas, lo que reduce drásticamente su potencial como fuente económica de EPG.

Tabla No.5. Contenidos de platinoideos determinados en las cromitas podiformes cubanas y su comparación con similares que se reportan en algunos importantes yacimientos del mundo

Tipo	Depósito	Pt (g/t)	Pd (g/t)	Otros (g/t)	Total (g/t)
Sulfuros de Cu - Ni Precámbrico	Sudbury (Ontario, Canadá)	0,6	0,7	0,32	1,62
	Gynn Lake (Manitoba, Canadá)	0,3	0,2	-	0,5
Sulfuros de Cu - Ni Fanerozoico	Crillon - La Perouse (Alaska)	0,1	0,1	-	0,2
Grupo del platino en intrusiones estratiformes intracontinentales	Bushveld (Sudáfrica)*	4	1,5	1	6,5
	Stillwater (Montana, E.U.)	-	10	-	10
Cromitas podiformes en ofiolitas de corteza oceánica mesozoica de Cuba	Casimba-Caledonia (**)	0,007	0,0043	0,104	0,115
	Santa Isabel - Negro Viejo - Rupertina (1)	0,017	0,006	0,196	0,22
	Caridad (***)	0,030-0,235	0,005-0,013	0,049 - 3,465	0,525-3,713

*Bushveld se divide en tres capas contenedoras de metales del grupo del platino, ellas son: Plat Reef (3,0 g/t), Cromitita UG2 (6,0 g/t) y Merenski Reef (5,5 g/t de EGP); ** Proenza, 1999²⁴; *** Gervilla *et al.*, 2005⁸

En el NE de la provincia de Camagüey, se reportaron en los depósitos de cromitas podiformes Victoria y Camagüey (afloramientos y escombreras), contenidos de Au entre 0,7 y 1,3 g/t. Se detectó, además, contenidos elevados (no especificados) de platinoideos (Pérez *et al*, 1998)²². Asimismo, en el depósito de cromitas Ferrolana y sus alrededores, aparecen cuerpos cromíticos

encajados en harzburgitas serpentinizadas, afectadas por fallas, los cuales presentan alteración cuarzo - fluorita - calcita y mineralización sulfurosa diseminada (González *et al*, 1999)⁹. Igualmente, algunos estudios petrográficos y mineralógicos detectaron posibles granos de EGP en Victoria - I.

Por las concentraciones reportadas en las cromititas cubanas (incluidas las de Camagüey), debe evaluarse sistemáticamente el contenido de EGP, particularmente en el caso de los depósitos de gran tamaño (con más de 500 000 toneladas de menas de Cr), dado el fuerte incremento en el valor económico de las menas que su presencia en ellas representaría.

Por todo lo anterior, a la hora de ejecutar nuevos trabajos de prospección y exploración para cromititas, debe incluirse la evaluación del contenido de EGP, así como el de Au, especialmente en el caso de que se detecte la presencia de mineralización sulfurosa en el área y que los cuerpos minerales de cromo sean grandes. Estos objetivos ya están previstos en el Programa de desarrollo de la Geología (en ejecución).

Elementos del Grupo del Platino y Oro en Lateritas

La presencia de EPG en las lateritas cubanas se explica por su existencia en forma dispersa en las rocas madres (rocas ultramáficas y máficas) a partir de las cuales ellas se forman. Los EGP son concentrados química y mecánicamente en la corteza de intemperismo, junto con otros elementos pesados como el Au. Las lateritas también reciben el aporte de los depósitos de cromititas ricas en Au y EGP que pasan a formar parte de ellas cuando sus rocas encajantes son intemperizadas y las menas erosionadas y redepositadas.

Varias instituciones rusas, dedicadas a las investigaciones de materias primas minerales (Gipronikel Institute; Mekhanobr Institute; Leningrad Mining Institute), han establecido que los productos metalúrgicos (productos sulfurosos y sinter) de las plantas cubanas que procesan lateritas, tanto en Moa como antiguamente en la ya inexistente planta de Nicaro, contienen de 2,45 g/t - 6,2 g/t y 6,3 g/t de EGP total, en particular de Pd, para el que reportan contenidos entre 1,26 g/t - 4,5 g/t; además de Au (0,35 g/t - 1 g/t y 0,56 g/t respectivamente).

En las colas de estos tipos de plantas metalúrgicas cubanas, estas instituciones reportan también la existencia de EGP y Au, aunque en menores contenidos (10 -12 mg/t). Tales resultados avalan la posibilidad de realizar la extracción comercial de estos metales preciosos (Lazarenkov *et al.*, 2005¹⁵; Distler, *et al.*, 1989⁷), por cuanto estas concentraciones son altamente económicas..

Distler *et al.*, (1989)⁷ basaron sus resultados en la distribución de EGP en 25 muestras representativas del mineral con el que se alimentaba la planta "Pedro Soto Alba" y los productos del proceso tecnológico de esta.

En el caso del mineral de cabeza (mineral que entra a la planta), establecieron la presencia de cantidades significativas de otros metales que se concentran en las colas, los que podrían recuperarse de estas. Nótese que los contenidos reportados de EGP superan ampliamente el contenido de borde (0,2 ppm), por lo que se trata de concentraciones de gran interés que ameritan estudios más profundos, completos y amplios, con propuestas de trabajos geológicos a realizar, con el objetivo de avanzar en el conocimiento de estas materias primas. Aquí se repetirán algunos proyectos en los que se investigarán al mismo tiempo los ETR y los EGP.

Propuestas de trabajos geológicos a realizar para avanzar en el conocimiento geológico de estas materias primas.

A partir de 2014 se realizaron las primeras propuestas de proyectos de investigación, relacionados con el estudio de los elementos de tierras raras (ETR), así como también se extendió este estudio a otros proyectos que se venían ejecutando para metales preciosos y en los que coexiste el interés de estudiar, además, los EGP. Los proyectos figuran en el plan de desarrollo de la Geología 2015 - 2020 y podrán disponer de financiamiento del presupuesto estatal para su ejecución. Los mencionados proyectos son:

1. Evaluación de la perspectiva de las acumulaciones de tierras raras,

platinoideos y metales nobles en las cortezas de meteorización de las ofiolitas de Moa y Pinares de Mayarí. EGMO.

2. Mapa Mineragénico de Cuba. Fase I. IGP.
3. TTP Estudio geólogo ambiental de los depósitos de ceniza de sulfometales, Empresa Geominera Pinar del Río. Este proyecto se incluye aquí porque tuvo un estudio anterior en 2010 el que arrojó contenidos de interés de Au y Ag. Dada la asociación de la Ag con la galena y la esfalerita con el Au, manifiesta en otros depósitos de este tipo de Pinar del Río, los que presentan elevados contenidos de ERD, se recomienda realizar trabajos de evaluación de potencial donde se estudiará el contenido de EDR en las muestras de cenizas de tostación y otros contaminantes derivados de la actividad industrial de la mencionada planta.
4. Reconocimiento y prospección de oro alrededor de Golden Hill. Empresa Geominera Camagüey.
5. Exploración complementaria yacimiento oro Jacinto (Beatriz, Sur de Elena). Empresa Geominera Camagüey.
6. Exploración complementaria menas oxidadas oro Florencia. Empresa Geominera Camagüey.
7. Exploración en los flancos y profundidad oro Descanso. Empresa Geominera Centro.
8. Exploración de oro Lote Grande. Empresa Geominera Centro.
9. Exploración oro Meloneras. Empresa Geominera Centro.
10. TTP Reconocimiento geológico para la investigación de agromenas de calcio, magnesio, fósforo y potasio, para uso agrícola. Empresa Geominera Isla.

Para el 2016 se proponen dos nuevos proyectos (I+D), los que se complementan con los anteriores, además, existe la posibilidad de que se incluyan otros tres (a financiar con el presupuesto de la geología para después del 2016). Se recomienda en estos últimos tres

casos, llevar a cabo primeramente una generalización que incluya toda información geológica, geofísica y geoquímica disponible, y un análisis de la misma, con vistas a precisar y/o ratificar la favorabilidad geológica para los ETR de estas áreas. Los proyectos son:

1- Favorabilidad de los minerales portadores de tierras raras (ETR) en los complejos intrusivos en las provincias Ciego de Ávila y Camagüey (parte oeste). IGP-Servicio Geológico. El territorio presenta perspectivas para mineralización de ETR de tipo placer, ETR en cortezas de intemperismo arcillosas sobre rocas félsicas y alcalinas, y Vetas de Th - ETR. Posiblemente esta mineralización esté acompañada por Au y Ag.

2- Estudio del magmatismo del terreno Pinos (Isla de la Juventud): Implicaciones metalogenéticas. IGP-Servicio Geológico. En este territorio existen perspectivas para depósitos de ETR relacionados con gneiss migmatítico, placer de ETR y ETR en cortezas de intemperismo arcillosas, entre otros. Esto se vincula con el estudio del magmatismo félsico y la verificación de su afinidad petrogénica (tipo I o S).

3- Prospección en Tres Antenas (La Catuca), ubicado en la mitad oriental de la región Ciego – Camagüey – Las Tunas. Empresa Geominera Camagüey. Se prevé determinar las características de estos depósitos, su grado de similitud con el modelo Vetas de Th - ETR y verificar la presencia de Au (reportada por las perforaciones durante los trabajos realizados por la Asociación Internacional Geominera SA - Joutel Resources Ltd.), además de Cu, Pb, Ag y BaSO₄.

4- Reconocimiento en Embarque, situado en la mitad oriental de la región comprendida entre Ciego – Camagüey y Las Tunas. Empresa Geominera Camagüey. Se pretende analizar la similitud con el modelo Vetas de Th – ETR en rocas félsicas alcalinas. Los datos existentes indican que la mineralización, en este caso, también contiene Au.

5- Reconocimiento en la región Palo Seco 1, Camagüey. Empresa Geominera Camagüey. La región es perspectiva para encontrar depósitos modelo óxidos Fe – P – ETR Tipo Kiruna (Fe, posible ETR). Este depósito, por el tamaño esperado, aún en caso de no contener tierras raras y otros elementos valiosos acompañantes (Au), puede aportar un significativo incremento a los recursos de Fe magnético de que dispone hoy el país.

Los resultados de los proyectos están previstos en el plan 2015, así como los que se proponen para el 2016 y en lo adelante. Esto permitirá avanzar en el esclarecimiento sobre la existencia de depósitos de ETR y sus contenidos en el país. Dichos proyectos son un paso obligado para el hallazgo de este tipo de mineralización, acorde con los modelos conocidos.

Con relación a los EGP y ERD a partir de 2014 se realizaron las primeras propuestas de proyectos de investigación relacionados con el estudio de los (EGP), así como también se incluyeron para este estudio otros proyectos que se venían ejecutando. Los proyectos figuran en el plan de desarrollo de la Geología de 2015 y disponen de financiamiento del presupuesto estatal para su ejecución. Los mencionados proyectos son:

1. Identificación mineralógica de portadores de elementos del grupo del platino en lateritas de Moa. CEDINIQ.
2. Evaluación de la perspectiva de las acumulaciones de tierras raras, platinoides y metales nobles en las cortezas de meteorización de las ofiolitas de Moa y Pinares de Mayarí. EGMO.
3. Evaluación de las perspectivas de las acumulaciones de metales nobles en las ofiolitas de Sagua – Moa – Baracoa. EGMO.
4. Mapa Mineragénico de Cuba. Fase I. IGP.
5. TTP Estudio geólogo ambiental de los depósitos de ceniza de Sulfometales. Empresa Geominera Pinar del Río

6. Prospección de oro en la Franja Meloneras-Oropesa. EGM Centro
7. Exploración cromita Rosita - Progreso. EGM Camagüey
8. Exploración cromita Ferrolana. EGM Camagüey
9. Exploración en los Flancos y Profundidad oro Descanso. EGM Centro
10. Exploración de oro Lote Grande. EGM Centro
11. Exploración oro Meloneras. EGM Centro

Los resultados de los proyectos previstos en el plan 2015, y los que se propongan en lo adelante, permitirán avanzar en el esclarecimiento sobre la existencia y contenidos de EGP en las regiones del país. Esto esclarecerá las posibilidades para el hallazgo de este tipo de mineralización, acorde con los modelos genéticos establecidos.

Debe incluirse en el plan hasta el 2020 un proyecto TTP y/o Reconocimiento para la verificación de la presencia de EGP, ETR, Au y ERD (In, Ge, Ga, Ti), en los depósitos y manifestaciones de sulfuros masivos y menas oxidadas del tipo silicoclástico - máfico del municipio Mantua, así como en los mantos de meteorización asociados.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Alonso A; Saito A, Takashi Y. 1991. Distribución de elementos secundarios en menas cubanas y productos de su procesamiento industrial. Memorias del II Simposio Internacional de Minería y Metalurgia, MINIMETAL 91, Tomo II, pag. 703-711, Palacio de Convenciones, 20-22 Noviembre, La Habana, Cuba.
- British Geological Survey. 2010. Commodities Profiles. Compiled by Abigail Walters and Paul Lusty with the assistance of Claire Chetwyn and Amanda Hill, [www. Minerals UK.com](http://www.MineralsUK.com)
- Castor S.B., Hedrick J.B. 2006. Rare Earths Elements. In: Kogel J.E, Trivedi N.C., Barker J.M.; Krukowski S.T. Industrial Minerals and Rocks: Commodities, Markets, and uses, 7th edition, SME. p. 1568.

- Castor S.B.; Hedrick J.B. USGS Minerals Commodity. 2015. United States Geological Survey. Compiled, www.usgs.gov
- Christmann. 2014. A forward look into rare earth supply and demand: a role for sedimentary phosphate deposit? 2nd International Symposium on "Innovation and Technology in the Phosphate Industry", Procedia Engineering, in print.
- CAMIER.2015. Cámara Minera del Perú. Enlace Minería <http://www.camiper.com/>
- Dill H. G. Dill. 2010. *The chessboard classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology*. Earth-Science Reviews, Volume 100, Issues 1–4.
- Distler V.V.; Kriasko V.V.; Sansdomerskaya S.M.; Botova M.M.; Sviechkova V.V.; Nikolskaya N.M.; Eschenova Z.A.; Bielovsov G.E.; Falcón J.; Campos M.; Muñoz N.; Rodríguez J.; Guardado R.; Rodríguez A.; Cabrera R.; Fonseca E.; Rodríguez D.; Guerra I.; López I.; Ávila E. 1989. Información de la presencia de EGP en lateritas y cromitas de Cuba. Instituto de Geología de los yacimientos minerales, Petrografía, Mineralogía y Geoquímica, Academia de Ciencias de la URSS, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba, Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica, Cuba, Empresa del níquel "Pedro Soto Alba", Moa, Cuba, Empresa Minera Holguín, Moa, Cuba, 45p.
- Gervilla, F.; Proenza, J.A.; Frei, R.; González-Jiménez, J.M.; Garrido, C.J.; Melgarejo, J.C.; Meibom, A.; Díaz-Martínez, R.; Lavaut, W. 2005. Distribution of platinum-group elements and Os isotopes in chromite ores from Mayarí-Baracoa Ophiolite Belt (eastern Cuba). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 150, 589–607p.
- González, R.; Chang, A; García, M; Molina, R. 1999. Proyecto reconocimiento geológico para oro en los sectores Ferrolana y Caridad. Inédito.
- González- Jiménez, J.M.; J.A. Proenza; F. Gervilla; J.C. Melgarejo; J.A. Blanco-Moreno; R. Ruiz-Sánchez; W.L. Griffin. 2011. High-Cr and high-Al chromitites from the Sagua de Tánamo district, Mayarí-Cristal ophiolitic massif (eastern Cuba): Constraints on their origin from mineralogy and geochemistry of chromian spinel and platinum-group elements. *LITHOS*-02396, 21p.
- Harben P. W. 2002. *Industrial Minerals Handbook*, 4th edition, Rare Earths Minerals and Compounds.
- Hou Z.; Tian S.; Xie Y.; Yang Z.; Yin S; Yi L.; Fei H.; Zou T.; Bai and Li X. 2010. The Himalayan Mianning – Dechang REE Belt associated with carbonatite-alkaline complexes, eastern indo-asian collision zone, SW China. *Ore Geology Review*. 36, 65-89 p. *Industrial Minerals and Rocks*. 2014, Junio.
- Jorgenson, J. D. y M. W. George. 2005. Indium. Mineral Commodity Profile. Open-File Report 2004-1300. 20 p.
- Lazarenkov, V. G.; I. N. Tikhomirov; A. Ya. Zhidkov; I. V. Talovina. 2005. Platinum Group Metals and Gold in Supergene Nickel Ores of the Moa and Nicaro Deposits (Cuba). *Lithology and Mineral Resources*, Vol. 40, No. 6, 2005, 521–527p. Translated from *Litologiya i Poleznyel skopaemye*, No. 6, 2005, pp. 600–608. Original Russian Text Copyright © 2005 by Lazarenkov, Tikhomirov, Zhidkov, Talovina.
- Laznicka, P. 2010. *Giant Metallic Deposits. Future Sources of Industrial Metals*. Second edition. Springer- Verlag Berlin Heidelberg 2006, 2010: 961 p. ISBN 978-3-642-12404-4 e-ISBN 978-3-642-12405-1. DOI 10.1007/978-3-642-12405-1.
- Lehmann T. 2014. Economic geology of rare-earth elements in 2014: a global perspective. *European Geologist* 37: 21 – 24p.
- Mederos P. 1980. Regularidades de distribución y composición sustancial de las fosforitas de la región Güines– Pipián (yacimiento "Meseta Roja"), Tesis doctoral, Moscú.
- Mederos P y otros.1991. Mapa Pronóstico para rocas fosfóricas 1: 500 000 y estudio de la composición sustancial. Proyecto de Investigación, código 401-10, IGP, MINBAS, U.G.M.
- Montejo-Serrano E; Pérez M y otros. 2008. *Investigaciones Polimetálicos Castellanos, Informe de Investigación, Archivo ICT-CIPIMM*.
- Moss, R.L; E. Tzimas; H. Kara; P. Willis; J. Kooroshy. 2011. *Critical Metals in Strategic Energy Technologies. Assessing Rare Metals as Supply-Chain Bottlenecks in Low-Carbon Energy Technologies*. JRC Scientifics and Technical Reports. JRC 65592. ISBN 978-92-79-20698-6. ISSN 1018-5593 doi: 10.2790/35600
- Orris G. J; Grauch R. I. 2002. Rare earth element mines, deposits, and occurrences. *US Geol. Survey Open-File Report 02-189: 1-174p*.
- Pérez E.; Pimentel H.; Pardo M.; Lugo R.; Viltres R.; García M.; González V.; Pérez J.; Prieto O.; Ayala T.; Gálvez F.; Barroso A.; Pérez A.; Carrero A. 1998. Interpretación tectono-estructural de los datos geofísicos en la región

- Ciego de Ávila- Camagüey- Las Tunas.
Informe inédito.
- Prichard, H., Neary, C., Potts, P.J. 1986. Platinum Group Minerals in the Shetland Ophiolite. In: Gallagher, M.J., Ixer, R.A., Neary, C.R., Prichard, H.M. Ed. Metallogeny of Basic and Ultrabasic Rocks. The institution of Mining and Metallurgy, London, U.K, pp. 395–414p.
- Proenza, J.A.; Gervilla, F.; Melgarejo, J.C.; Bodinier, J.L. 1999. Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt (Eastern Cuba): consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle Economic Geology 94, 547–566 p.
- Taylor S.R., and Mc Lennan S.M. 1985. The continental crust: its composition and evolution: Blackwell, Oxford. USA Academy of Sciences. 2007. Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy
- USGS Minerals Commodity . 2002. United States Geological Survey. Compiled by Hedrick J.B, www.usgs.gov
- U.S. Geological Survey. 2015.a. Gallium. Mineral Commodity Summaries.
- U.S. Geological Survey. 2015.b. Germanium. Mineral Commodity Summaries.
- U.S. Geological Survey. 2016. Germanium. Mineral Commodity Summaries.
- Wellmer F.W, Dalheimer M. 2012. The feedback cycle as regulator of past and future mineral supply. *Mineralium Deposita* 47: 713-729. DOI: 10.1007/s00126-012-0437-0. Woodhouse, M., A. Goodrich, R. Margolis, T. L. James, M. Lokanc, R. Eggert. 2013. Supply-Chain Dynamics of Tellurium, Indium, and Gallium Within the Context of PV Manufacturing Costs. *IEEE Journal of Photovoltaics*. 3, (2): 833 – 837.
- Zhou, M.F.; Keays, R.R.; Kerrich, R.W. 1998. Controls on platinum-group elemental distributions of podiform chromitites: a case study of high-Cr and high-Al chromitites from Chinese orogenic belt. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62, 677–688.
- KPMG. 2015. Commodity insights Bulletin June 2015 Platinum.