

Recomendaciones sobre la búsqueda de minerales útiles metálicos y no metálicos para el Trópico Húmedo en países en vías de desarrollo

Carbeny Capote Marrero¹, María Santa Cruz Pacheco Sarlabous¹.

¹ Instituto de Geología y Paleontología (IGP) / Servicio Geológico de Cuba, dirección postal: Vía Blanca No. 1002 e/ Río Luyanó y prolongación de Calzada de Güines, reparto Los Ángeles, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba, carbeny@igp.minem.cu y mariadelasnieves@igp.minem.cu

RESUMEN

Un axioma de la realidad mundial actual es que no se puede esperar un aprovechamiento racional de los recursos minerales si no existe previamente una adecuada investigación geológica. Ella abarca: A- Investigaciones generales (o fundamentales). B- Investigaciones prospectivas. Estas últimas contienen a su vez cuatro estadios, que de acuerdo a la terminología aceptada como base para este trabajo son: 1- Evaluación de potencial (Primera parte de la Búsqueda). 2- Reconocimiento Geológico (Segunda parte de la Búsqueda). 3- Prospección. 4- Exploración. La Búsqueda ocupa un lugar cimero, debido a que es la encargada de detectar los nuevos depósitos. No obstante, practicarla se ha vuelto, en general, complejo. Se debe a que los cuerpos minerales por encontrar son más pequeños, de menor ley, y no afloran, al ser subsuperficiales o enterrados; y la investigación ha debido trasladarse a áreas de geología más complicada. Pero, en el trópico húmedo la geografía impone obstáculos adicionales tales como escasa aflorabilidad del substrato, poca accesibilidad, y difícil interpretatividad de algunos materiales de los métodos distanciados. Y, el estatus «en vías de desarrollo» significa la inviabilidad de aplicar todo lo existente en métodos directos e indirectos. Tal situación exige la existencia de guías o procedimientos metodológicos que orienten qué hacer ante las múltiples complicaciones que se presentan en el terreno. Sin embargo, no ha sido posible consultar ningún trabajo que de manera integral muestre la metodología de la búsqueda moderna. Y, por otro lado, lo encontrado se refiere solo a algún aspecto en particular, pero es común que no oriente el qué

hacer en el trópico húmedo y en vías de desarrollo. Sin pretender ser un tratado, ni un procedimiento, este trabajo solo persigue valer como inicio de una Breve Guía Metodológica. Para ello, se han analizado procedimientos de diversos países así como los métodos y resultados de múltiples trabajos desarrollados, entre 2000 y la actualidad, tanto en Cuba como en la República Bolivariana de Venezuela y Brasil. Y los resultados principales del presente trabajo se conforman por las conclusiones del análisis crítico de todo este acervo, bajo la óptica de su eficacia en países con trópico húmedo y en vías de desarrollo, así como por recomendaciones destinadas a elevar la eficacia de la búsqueda hasta el nivel que exige el aprovechamiento racional de los recursos minerales metálicos y no metálicos en estas específicas condiciones geográficas y socio-económicas.

Palabras clave: búsqueda de minerales, evaluación de potencial, reconocimiento, trópico húmedo, en vías de desarrollo

ABSTRACT

An axiom of the current world reality is that you can not expect a rational use of mineral resources if there is not previously adequate geological research. It covers: A- General (or fundamental) investigations. B- Prospective investigations. The latter contain four stages, which according to the terminology accepted as the basis for this work are: 1- Potential mineral assessment (First part of the Search). 2- Geological reconnaissance (Second part of the Search). 3- Prospecting. 4- Exploration. The Min-

eral Search occupies a top place, because it is in charge of detecting new deposits. However, practicing it has become, in general, complex. It is due to the fact that the mineral bodies to be found are smaller, of lower grade, and do not emerge, being subsurface or buried; and the investigation has had to move to more complicated areas of geology. However, in the humid tropics, geography imposes additional obstacles such as low outcropping of the substrate, little accessibility, and difficult interpretability of some materials of the distanced methods. And, the «developing» status means the non-feasibility of applying everything existing in direct and indirect methods. Such a situation requires the existence of guides or methodological procedures that guide what to do in the face of the multiple complications that arise in the field. However, it has not been possible to consult any work that comprehensively shows the methodology of the modern minerals search. And, on the other hand, what is found refers only to some particular aspect, but it is common that it does not orient what to do in the humid and developing tropics. Without pretending to be a treaty or a procedure, this work only aims to be the beginning of a Brief Methodological Guide. For this purpose, procedures from different countries have been analyzed, as well as the methods and results of multiple works developed, between 2000 and the present, both in Cuba and in the Bolivarian Republic of Venezuela and Brazil. And the main results of this work are shaped by the conclusions of the critical analysis of this whole collection, from the perspective of its effectiveness in countries with humid and developing tropics, as well as by recommendations aimed at increasing the effectiveness of the search until the level that requires the rational use of metallic and non-metallic mineral resources in these specific geographic and socio-economic conditions.

Keywords: minerals search, mineral potential assessment, reconnaissance, humid tropics, in developing.

RESUMO

Um axioma da atual realidade mundial é que não pode-se esperar um uso racional dos recursos minerais se não houver previamente pesquisa mineral adequada. Abrange: A- investigações gerais (ou fundamentais). B- Investigações prospectivas. Esse último contém quatro etapas, que de acordo com a terminologia aceita como base para este trabalho são: 1- Avaliação potencial (primeira parte da

pesquisa). 2- Reconhecimento geológico (segunda parte da pesquisa). 3- Prospecção. 4- Exploração. A Busca ocupa um lugar de destaque, pois é responsável por detectar novos depósitos. No entanto, praticá-lo tornou-se, em geral, complexo. É devido ao fato de que os corpos minerais a serem encontrados são menores, de menor grau, e não emergem, sendo subsuperficiais ou enterrados; e a investigação teve que se deslocar para áreas mais complicadas da geologia. No entanto, nos trópicos úmidos, a geografia impõe obstáculos adicionais, como escassez de afloramento do substrato, pouca acessibilidade e difícil interpretabilidade de alguns materiais dos métodos distanciados. E o status «em desenvolvimento» significa a não viabilidade de aplicar tudo o que existe em métodos diretos e indiretos. Tal situação requer a existência de guias ou procedimentos metodológicos que orientem o que fazer diante das múltiplas complicações que surgem no campo. No entanto, não foi possível consultar qualquer trabalho que mostre de forma abrangente a metodologia da pesquisa moderna. E, por outro lado, o que se encontra refere-se apenas a algum aspecto particular, mas é comum que ele não oriente o que fazer nos trópicos úmidos e em desenvolvimento. Sem pretender ser um tratado ou um procedimento, este trabalho apenas pretende ser o início de um Guia Metodológica Breve. Para tanto, foram analisados procedimentos de diferentes países, bem como os métodos e resultados de múltiplos trabalhos desenvolvidos, entre 2000 e o presente, tanto em Cuba como na República Bolivariana da Venezuela e do Brasil. E os principais resultados deste trabalho são moldados pelas conclusões da análise crítica de todo esse acervo, na perspectiva de sua efetividade em países com trópicos úmidos e em desenvolvimento, bem como por recomendações que visam aumentar a efetividade da busca até o nível que requer o uso racional de recursos minerais metálicos e não-metálicos nessas condições geográficas e socioeconômicas específicas.

Palavras-chave: pesquisa mineral, avaliação de potencial mineral, reconhecimento, trópicos úmidos, em desenvolvimento.

INTRODUCCIÓN

Con el fin de la extracción racional y a la vez beneficiosa de los recursos minerales, en el muy complejo mundo actual hace falta conocimiento geológico, viabilidad extractiva y garantía de manejo ambiental. A su vez, para

obtener el necesario conocimiento geológico es imprescindible dedicar esfuerzos y no poco financiamiento a una adecuada investigación geológica (IG). Dentro de ella, la búsqueda ocupa un lugar cimero debido a que es la encargada de detectar los nuevos depósitos. No obstante, para cumplir esta tarea en el siglo XXI, lo primero que debe hacerse es tener la más absoluta convicción de que buscarlos no puede ser ya el simple ejercicio empírico que fue hace décadas, cuando se investigaba en la superficie, en los alrededores de yacimientos conocidos. La realidad enseña que cada día escasean más las áreas inexploradas y que los depósitos no encontrados son, en su mayoría, sub-superficiales o ciegos, complejos, pequeños y de bajo contenido. Y esto exige que para hacer la Búsqueda todo lo eficaz posible serán aplicados con intensidad los más modernos métodos indirectos, directos y de análisis multivariado de datos. No obstante, en la Geología es casi una regla que los sistemas sean indefinidos y los datos incompletos, por lo que la explicación dada sobre un asunto es una interpretación. Por lo cual, la preparación académica y la experiencia práctica de los geólogos buscadores desempeñan un papel fundamental en el éxito de los resultados.

El trópico húmedo impone obstáculos adicionales tales como baja aflorabilidad del substrato, baja accesibilidad, y difícil interpretatividad en algunos materiales distanciados. Y, el estatus «en vías de desarrollo» significa la inviabilidad de aplicar lo último en métodos directos e indirectos. Uno y otro hacen que la preparación del personal encargado deba alcanzar un nivel de preparación aún superior. Sin embargo, es común que la formación del personal encargado responda a lo que se hace en otros climas y en países desarrollados, e incluso, de tenerse esta clase de preparación, no se cuenta con el suficiente tiempo practicándola. En todo caso, al mejor trabajo ayuda, sin dudas, la existencia de instrucciones y procedimientos, tanto para distintos tipos de minerales, como en diferentes grados de dificultad de investigación. Sin embargo, no ha sido posible consultar ningún trabajo que de manera integral muestre la metodología de la búsqueda moderna. Y, por otro lado, lo encontrado se refiere solo a algún aspecto en particular, pero es común que no oriente el qué hacer en el trópico húmedo y en vías de desarrollo. Por lo tanto, predomina en la práctica dejar sin investigación áreas probadamente favorables, aplicar metodologías erradas y recargar en la prospección una enorme área a cubrir con sus costosos métodos directos (perfora-

ción, laboreos mineros, laboratorios). En consecuencia, después de un enorme costo y un largo tiempo, no se cumplen los objetivos inicialmente trazados.

Por lo tanto, el problema a resolver es elevar la eficacia de la búsqueda de minerales metálicos y no metálicos en los países en vías de desarrollo con clima tropical. Sin pretender ser un tratado, ni un procedimiento, los resultados aquí obtenidos solo persiguen el objetivo de valer como inicio de una Breve Guía Metodológica que permita iniciar la solución del problema identificado.

El diseño de la investigación se fundamenta en el análisis bibliográfico, abarcando tanto lo publicado como lo inédito. Siempre se tuvo muy presente que no pocos «resultados sorprendentes» son, nada más, el fruto de una búsqueda bibliográfica deficiente.

MATERIALES Y MÉTODO.

Método.

El análisis bibliográfico abarcó procedimientos relativos a la búsqueda de la antigua URSS (1976), y de Cuba (1989), así como de prospección (Canadá y Australia). Asimismo, se examinaron múltiples experiencias en la búsqueda de metálicos y no metálicos, desarrollada entre 2000 y la actualidad, tanto en Cuba como en la República Bolivariana de Venezuela, Brasil y la India. El análisis hecho fue: –Documental, identificándose y valorándose conceptos, categorías y lo investigado sobre esta temática hasta el presente. –Histórico lógico, evaluándose el desarrollo, la situación actual y perspectivas de la búsqueda de minerales moderna. –Sintético, particularizando la situación que presenta la búsqueda de minerales en los países en vías de desarrollo que presentan clima tropical. –Inductivo, partiéndose de los efectos negativos y positivos detectados en cada uno de los trabajos examinados, se profundizó en la naturaleza de sus causas. –Deductivo, partiéndose del problema identificado y de los objetivos trazados se arribó a conclusiones en el análisis crítico y en las recomendaciones.

Análisis de Antecedentes.

La prospección de minerales metálicos y no metálicos tiene como orden de propósitos: 1- incremento, 2- aprovechamiento y 3- manejo ambiental óptimos de los recursos minerales. Se organiza por estadios, o etapas, de manera tal de ir de lo conocido a lo desconocido. Cada etapa debe obtener los datos e informaciones suficientes que permitan prever si se continuará la investigación a un

nivel superior o no y, si procede, planificar los trabajos necesarios para elevar el grado de conocimiento del objeto de estudio. Capote (2008-a) plantea que si bien buscar un nuevo yacimiento se ha vuelto una tarea más difícil, el grado de dificultad de la investigación (GDI) varía de un lugar a otro, lo cual no solo aumenta o disminuye los obstáculos para encontrarlo, sino que está rela-

cionado directamente con los costos. De igual modo, expone que el grado de dificultad de la investigación está conformado por 6 factores de naturaleza objetiva: 1- Grado de conocimiento pretérito. 2- Complejidad geológica de la mineralización. 3- Complejidad geológica del área donde se encuentra la mineralización. 4- Interpretatividad. 5- Aflorabilidad. 6- Accesibilidad (**Tabla 1**).

Tabla 1. Descripción de los factores que conforman el grado de dificultad de la Investigación Prospectiva de Minerales. Fuente: Capote y Santa Cruz Pacheco, 2015.

Grado de conocimiento pretérito.	Definición: Refleja el nivel de estudio alcanzado anteriormente sobre el objeto de estudio. Abarca 5 categorías: Muy alto, alto, mediano, bajo, ninguno.
Grado de complejidad de la mineralización.	<p>Se consideran 5 grupos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grupo 1. Constitución geológica sencilla, la mayor parte de la mineralización se encuentra en cuerpos minerales con una yacencia no dislocada o débilmente dislocada, con espesor, estructura interna y la calidad del mineral útil estable, con una distribución de los tipos naturales de menas y de los componentes principales en forma regular, lo que permite determinar recursos en la exploración en las categorías de indicados y medidos. • Grupo 2. Constitución geológica compleja, con una potencia y estructura interna variable de los cuerpos minerales o con una yacencia dislocada, con una calidad inestable del mineral o con una distribución irregular de los tipos naturales de menas y de los principales componentes valiosos. Corrientemente se determinan recursos en categorías de medidos, indicados e inferidos. En los yacimientos de este grupo la determinación de recursos medidos depende de la pre-factibilidad económica de hacerlo, pues necesita de una densa red de estudio. • Grupo 3. Constitución geológica muy compleja, la cual se caracteriza por una acentuada variabilidad del espesor y de la estructura interna de los cuerpos minerales o esté dislocada la yacencia de los mismos, con una calidad inestable y con una distribución muy variable de los tipos naturales de menas y de los componentes valiosos principales. Los recursos de estos yacimientos se exploran fundamentalmente en indicados e inferidos. La explotación se decide sobre recursos indicados, a partir de pruebas tecnológicas. • Grupo 4. Constitución geológica extremadamente compleja, la cual se caracteriza por una variabilidad muy intensa del espesor y estructura interna de los cuerpos minerales o de las zonas de concentración o con una dislocación muy intensa de los mismos, así como una calidad muy inestable y con una distribución profundamente irregular de los tipos naturales de menas y de los principales componentes. La exploración de los miembros de este grupo exige la ejecución de laboreos mineros en grandes volúmenes y se otorgan categorías de indicados e inferidos. El posterior estudio de estas mineralizaciones (exploración de explotación) se hace coincidir con su apertura y preparación para la explotación.
La complejidad geológica de la cartografía regional.	Viene dada fundamentalmente por la variedad litológica y el grado de deformación estructural presentes, usándose una clasificación de 5 grupos: simple, mediana, mediano-compleja, compleja, muy compleja.
Interpretatividad.	Significa el grado de facilidad de la interpretación del objeto de estudio en los materiales indirectos. Comúnmente se usa para las imágenes de teledetección, pero se puede aplicar también para la geofísica. En el caso de la teledetección se emplean cinco grados: Excelente, Buena, Media, Deficiente, Muy deficiente.
Aflorabilidad.	Significa el grado de exposición en superficie del objeto de estudio. Comúnmente se usa para el substrato rocoso y la mineralización endógena. La clasificación abarca seis grados: muy alta, alta, mediana, baja, muy baja, ausente.
Accesibilidad.	Consiste en las posibilidades de acceder al área de estudio, dadas por relieve, vegetación, fauna peligrosa, cercas, vías de acceso, clima, entre otros. Su clasificación abarca cinco grados: muy difícil, difícil, mediana, favorable, muy favorable.

La práctica internacional enseña que el proceso más eficaz para buscar, encontrar y entregar un depósito para analizar la factibilidad de su aprovechamiento industrial abarca dos fases (**Figura 1**).

Fase 1: Investigaciones generales (o fundamentales). (Cartografía geológica básica a escalas regionales, mapas de ocurrencia mineral y mineragénicos, modelación de yacimientos minerales útiles, diseño y adquisición de nuevas tecnologías de investigación, entre otros).

Fase 2: Investigaciones prospectivas. Si bien se subdividen en cuatro estadios, en la literatura actual existe un verdadero galimatías al respecto de la denominación de cada uno. A continuación se muestran los nombres dados en Cuba, aunque en la descripción de cada uno se coloca una breve sinonimia. Los estadios son:

1. Evaluación de potencial. (Primera parte de la Búsqueda).
2. Reconocimiento geológico. (Segunda parte de la Búsqueda).
3. Prospección.
4. Exploración.

Contribuye mucho al aprovechamiento racional nacional de los recursos que la **fase 1** y los **estadios 1 y 2** de la **fase 2** sean cubiertos por el Estado, mientras que lo restante se puede desarrollar con capital privado, total o parcialmente. Ello se basa en el carácter estratégico que tiene para una nación el conocer las tendencias de sus potencialidades minerales, así como el monto aproximado de sus recursos y su significado socio-económico. En la **Figura 1** se observa la relación óptima entre fases y estadios.

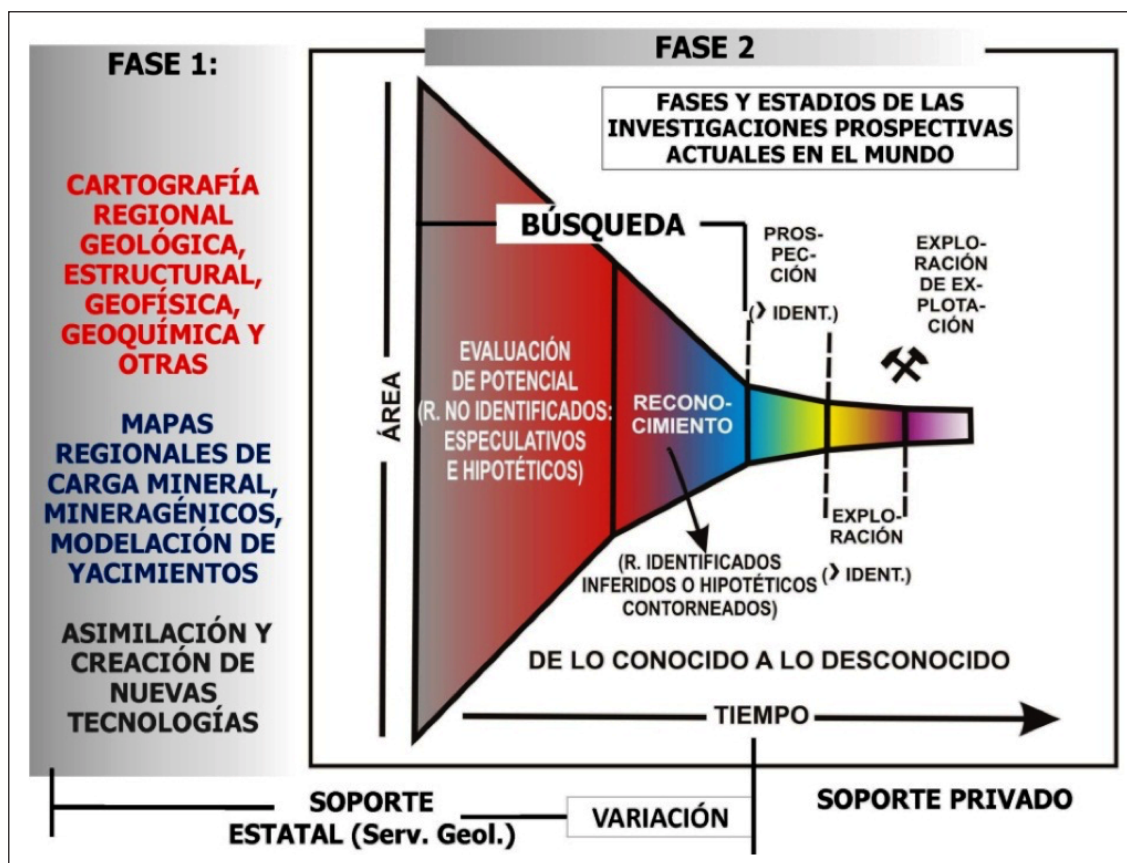


Figura 1. Secuencia óptima de las investigaciones prospectivas de minerales aplicadas en nuestros días.

Breve caracterización de los estadios de la fase 2, insistiéndose en 1 y 2.

Evaluación de Potencial (EP) (Sinonimia: –Levantamiento complejo-búsqueda-orientativa (URSS, 1976), –bús-

queda o prospección preliminar (u orientativa) (Cuba, 1976, 1989), –mapa metalogénico (Brasil), estudios regionales de reconocimiento (India)). (Capote, 2012-a).

Se encarga de detectar sectores favorables dentro de grandes áreas identificadas anteriormente como propicias desde el punto de vista mineragénico. De existir, estos sectores encerrarán recursos no identificados (especulativos e hipotéticos) que pasarán al Reconocimiento Geológico (R); asimismo, le sirve a este de guía científica básica. Abarca:

- a Cartografía geológica sistemática a escalas 1:100 000 - 1:50 000, en algunos casos 1:25000.
- b Estudios geofísicos aerotransportados (magnético, electromagnético y gamma-espectrométrico) a escalas 1:100 000 - 1:50 000, en algunos casos 1:25 000.
- c Perfiles geoquímicos regionales.
- d Perfiles geofísicos regionales.
- e Procesamiento e interpretación de imágenes aéreas y satelitales.
- f Análisis multivariado de datos.

En la práctica, la EP no siempre se ejecuta de una sola vez, pues depende del grado de conocimiento pretérito, y de los recursos materiales y humanos disponibles. Entonces, es recomendable realizarla en dos sub-etapas, comenzando con una EP compilativa - análisis preliminar de favorabilidad (EPCF), y sobre la base de sus resultados pasar a la próxima, tal vez en un área menor, la cual sí debería intentar alcanzar los objetivos del estadio. No obstante, hay una gran cantidad de trabajos académicos y docentes que responden al contenido de una EPCF, pero que aparecen con el nombre de EP, hecho que crea una frecuente confusión y llega a impedir conseguir lo que realmente exige la EP, mutilándose así la primera parte de la Búsqueda.

Reconocimiento Geológico (RG) (Sinonimia: búsqueda detallada (URSS y Cuba (1976), prospección preliminar (India)). (Capote, 2012-b).

Su objetivo principal es discriminar áreas a la Prospección, mediante la delimitación más segura de aquellos sub-sectores que puedan cumplir los requerimientos de la mineralización buscada. En el caso de categorías de complejidad de la mineralización I, II la mayor parte de los recursos están en inferidos (mínima

de los Identificados). Y en los casos III y IV los mejores sub-sectores contarán con mayor información que el resto sobre la forma, yacencia y calidad de la mena, intercalaciones estériles y cubierta de destape, y sus posibles procesamientos tecnológicos (nivel de laboratorio).

Abarca:

- a Cartografía geológica a escalas 1:25,000 - 1:10 000, en algunos casos 1:5:000.
- b Procesamiento e interpretación de imágenes aéreas y satelitales de alta resolución espacial.
- c Los estudios geoquímicos ajustarán su metodología y densificarán de acuerdo con el tipo y la complejidad de la mineralización y la constitución geológica del área encajante.
- d Los estudios y geofísicos ajustarán su metodología y densificarán de acuerdo con el tipo y la complejidad de la mineralización y la constitución geológica del área encajante.
- e Los métodos directos (muestreo de afloramientos, perforaciones, laboreos mineros superficiales, etc.) se combinan de forma tal de hacer perfiles transversales «cubiertos» o «cerrados». Es decir, que permitan obtener un corte transversal donde los cuerpos minerales principales sean atravesados en el medio y los extremos, de acuerdo con la profundidad de estudio marcada. Las distancias entre puntos por el perfil, y entre perfiles, así como las características del muestreo y los ensayos (fundamentalmente de laboratorio), dependen del tipo de materia prima mineral investigado y al grupo de complejidad que pertenece.

Prospección (P). (Sinonimia: Exploración preliminar (Cuba (1989) e India)). Los trabajos, en esencia, son directos. Persiguen aumentar las categorías de los recursos entregados por el RG. Sus características (dimensiones y forma de la red, ensayos de laboratorio y tecnológicos, entre otros) son determinadas por el tipo de materia prima mineral investigado y el grupo de complejidad al que pertenece. (Capote y Santa Cruz Pacheco, 2015).

Exploración (E): (Sinonimia: Exploración detallada (Cuba (1989) e India)). Los trabajos, en esencia, son directos. Se encaminan a aumentar la categoría de los recursos entregados por la P con el fin de someter una parte al análisis de factibilidad de su aprovechamiento industrial. (Capote y Santa Cruz Pacheco, 2015).

RESULTADOS: ANÁLISIS CRÍTICO Y RECOMENDACIONES.

Análisis crítico y recomendaciones para la Evaluación de Potencial (EP).

Cuando la Búsqueda no se practica correctamente, sucede lo representado en la **Figura 2**. Cuando el motivo pertenece a la EP, puede deberse a no efectuarse, a hacerse incompleta, o hacerse incorrectamente. En los dos últimos casos, las causas principales están en una proyección sin

tomar en cuenta el grado de dificultad de la investigación y la no aplicación consecuente de los pasos establecidos. Por otro lado, las consecuencias de una EP inexistente o insuficiente son:

- Se quedan grandes áreas favorables sin estudiar y, por lo tanto, quedarán yacimientos sin encontrar.
- Falta la guía científica para el R en cuanto a modelos a usar y regularidades de distribución, entre otros aspectos. Por tanto, el R se hará casi sobre la base de la ocurrencia mineral asumida como conocida, lo cual también propiciará que queden depósitos sin encontrar.

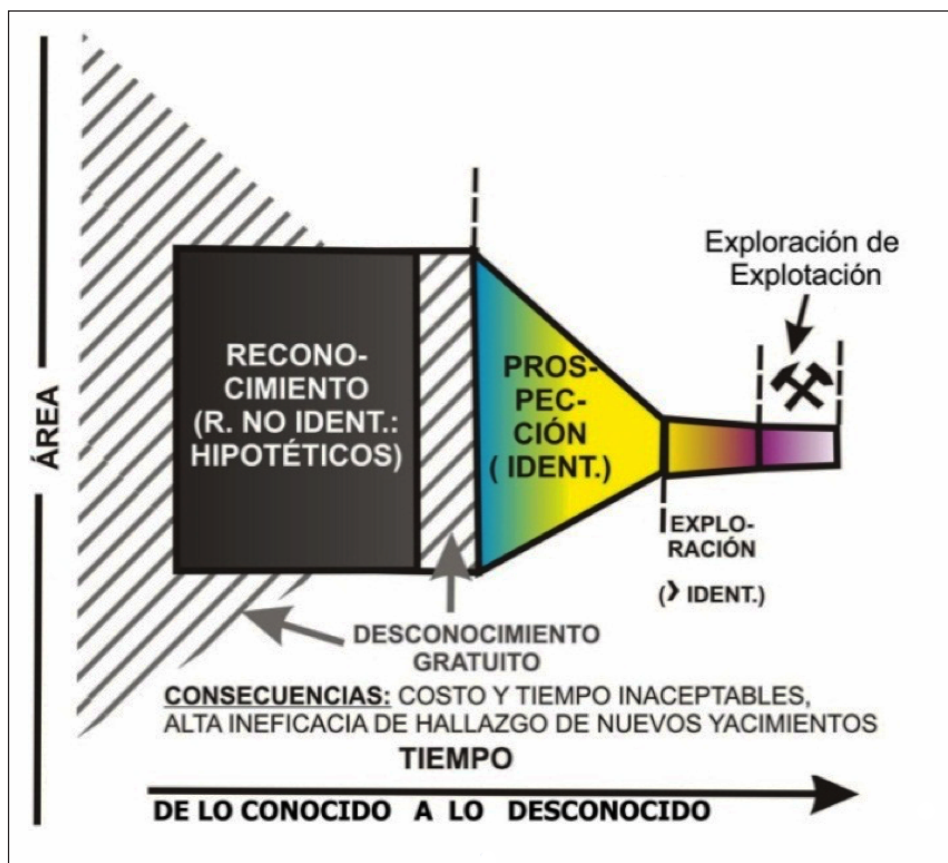


Figura 2. Consecuencias de la exclusión en la Búsqueda de la Evaluación de Potencial, y de la falta de eficiencia en el Reconocimiento Geológico.

Cartografía geológica sistemática a escalas 1:100 000-1: 50 000, en algunos casos 1:25 000.

a *Análisis crítico.* La baja aflorabilidad presente resulta ser el principal obstáculo.

b *Recomendaciones.* Ello obliga a tomar medidas especiales para obtener mejores informaciones del substrato. Entre ellas, está la perforación con testigo mediante máqui-

nas portátiles de pequeño diámetro (Capote y Santa Cruz Pacheco, 2015), y el aprovechamiento del muestreo por parte de los geólogos de eluvio, suelo y flujos para la determinación de indicadores geoquímicos litológicos, basados en el procesamiento estadístico complejo de los macro- y micro-elementos (Barbosa Landim y otros, 2007).

Estudios geofísicos aerotransportados (magnético, electromagnético y gamma-espectrométrico).

- a *Análisis crítico.* El enmascaramiento del substrato afecta muy especialmente la interpretación de los registros gamma-espectrométricos.
- b *Recomendaciones.* En el caso del canal de potasio, la presencia de suelo anegado (gley), o de corrientes de agua y sus áreas de inundación motiva campos anómalos no geológicos que deben ser eliminados o atenuados en el momento de la interpretación (Capote y otros, 2017). Por otra parte, un espesor notable eluvio arcilloso puede «atrapar» contenidos de uranio de forma tal que se manifiesten anomalías que no representan realmente al substrato existente; tal es el caso de las regolitas sobre los grandes cuerpos de granitoides (Capote y otros, 2017).

Perfiles geoquímicos regionales.

- a *Análisis crítico.* La falta de afloramientos obliga al uso de la geoquímica de eluvio, suelo y flujos de corrientes. No obstante, la existencia del intemperismo químico (IQ) determina que los valores anómalos no signifiquen necesariamente indicadores de la mineralización buscada (Capote y otros, 2002).
- b *Recomendaciones.* Ello exige el uso de tratamientos estadísticos complejos que ayuden a establecer indicadores de la mineralización buscada dentro de un universo de datos muy afectados por el IQ (Barbosa Landim y otros 2017, Boni-Licht y de Azevedo Branco 2007, De Queiros Mattoso y Laquintinie Formoso 2007, Lima da Costa 2007, Ramos y otros 2007).

Perfiles geofísicos regionales.

- a *Análisis crítico.* En el caso de la geofísica, la falta de afloramientos y la presencia de una máscara de cobertura friable constituyen un obstáculo serio a la interpretación del registro cuando se incluye en el complejo de métodos la radiometría, o la gamma-espectrometría.

Procesamiento e interpretación de imágenes aéreas y satelitales.

- a *Análisis crítico.* La Teledetección (Sondeo remoto, Percepción remota) ha evolucionado tanto en sensores y plataformas como en técnicas de procesamiento digital. En la geología, más que el perfeccionamiento de una herramienta de mapeo se ha convertido en una vía confiable e innovadora que cambia de manera radical el arte de la investigación geológica, ya que da la posibilidad de estudiar áreas desconocidas e inaccesibles, a la vez que permite elevar el conocimiento de otras con mayor grado de estudio. Particularmente han probado eficacia en la Búsqueda las multi- e hiper-espectrales, a través de la cartografía mineral y litológica. Pero, la inmensa mayoría de los resultados reportados son de lugares donde el substrato aflora y no existe o no es significativa la cobertura vegetal y/o de suelo. O hay eluvio sobre parte del substrato, pero debido al intemperismo físico. Por lo tanto, la aplicación efectiva de la TD en la Búsqueda en el trópico húmedo y en vías de desarrollo representa aún un serio problema a resolver. Pues, las áreas de estudio presentan comúnmente fuertes enmascaramientos dados por suelo, vegetación, aplanamiento del terreno y antropización. Asimismo, las dimensiones de los cuerpos minerales pueden ser pequeñas, lo cual obliga a estudiar también el control del emplazamiento. Y además, todo ello viene acompañado de la inviabilidad de adquirir algunos tipos de registros, como son, entre otros, las satelitales de alta resolución, tanto las reflectivas como las Radar (Capote,

2018). Por otro lado, no han faltado aplicaciones en los que no se hace un adecuado uso de la TD, hecho que socava el prestigio del método. Esto sucede, entre otras causas, al perseguirse más mostrar un procesamiento de «moda» que solucionar un problema concreto; o al hacerse un análisis bibliográfico deficiente; o al subvalorarse el peso de la interpretatividad del objeto y la utilidad de los atributos espaciales de la imagen; o al sobreestimarse el procesamiento con respecto a la interpretación; o al preferirse unos registros sobre otros sin fundamento técnico real sino, también, por «moda»; o al no validarse los resultados alcanzados mediante trabajos directos en el terreno. (Capote, 2005).

- b *Recomendaciones.* De forma general, el aumento de la eficacia de la Teledetección en la Búsqueda se obtiene siempre que: 1- Se haga un adecuado Procesamiento, para realzar de modo óptimo la informatividad de los datos distanciados disponibles; y 2- efectuar una Interpretación que extraiga el máximo de información de los productos mejorados. En el caso del procesamiento se recomienda:
- Concepto «Crósta», al respecto del objetivo esencial del procesamiento de imagen (Crósta, 1993), es decir: «el aumento de la informatividad de la imagen al ‘ojo experto’». Esto significa, entre otros, que procesamiento e interpretación tienen sus especificidades y, en consecuencia, lo óptimo es que procesen unos e interpreten otros, independientemente de que debe haber un solape de conocimientos que garantice la eficacia de todo el trabajo.
 - Toda la información distanciada disponible que pueda ser útil para cumplir los objetivos del proyecto, es decir, teledetección + aerogeofísica + modelo de elevación digital. En el caso de las imágenes de TD, se debe tener en cuenta tanto aéreas como satelitales.
 - Fusión de datos. Tanto el concepto de fusión

- de distintos tipos de imágenes reflectivas (ej: fotos pancromáticas aérea + satelitales multiespectrales), como en el sentido de diferentes tipos de registro (ejemplos: a- radar aéreo + satelitales multiespectrales; b- satelitales multiespectrales + magnetometría + altimetría; satelitales multiespectrales + magnetometría + gamma-espectrometría; entre otras)
- Atributos espaciales de las imágenes (texturas naturales).
 - Algoritmos RGBI (RVAI). Esto permite el mejoramiento de los atributos espectrales mediante RGB (rojo, verde, azul) y el resalte de los espaciales a través de *Intensity* (Intensidad o Luminosidad).
 - «Stress vegetal».
 - Análisis de componentes principales.

Y en la interpretación:

- Formación de un equipo de especialistas con alta preparación teórico-práctica en todo lo concerniente a la solución de la tarea geológica aceptada.
- Predominio de la interpretación sobre la identificación de objetos
- Empleo a profundidad de la interpretación «ciega», es decir, la que se hace sin información cartográfica previa del objeto de estudio. Tiene la ventaja de representar la «primera vista» del autor, lo cual sobre todo vale cuando la interpretatividad y el grado de conocimiento pretérito son bajos.
- No solo se aplica la búsqueda de la mineralización en sí misma, sino también de la estructura controladora.
- Para lo anterior, a veces procede intentar separar las estructuras en pre-, sin- y pos-mineralización, basados en los indicadores y evidencias encontradas.
- Establecimiento previo de patrones visuales interpretativos sobre la base de sectores más conocidos.
- Generalmente se hacen dos interpretaciones: pre- y pos campo (final). No obstante, en proyectos con bajo grado de interpretatividad (deficiente y/o muy deficiente), puede necesitarse una complementaria, al

final, luego de hecha la integración de los resultados de métodos directos e indirectos.

Análisis multivariado de datos.

A partir de la segunda mitad de la década de 1980, se viene utilizando la tecnología SIG para mejorar la estimación del potencial con vistas al descubrimiento de nuevos depósitos minerales, pues por esta vía se facilita mucho la delimitación de áreas favorables. Estos estudios son multidisciplinarios y requieren consideraciones simultáneas de diversos datos como: geoquímica, estructura, litología, suelos, relieve, entre otros. En Bonham-Carter (1994), se puede encontrar la siguiente caracterización general del proceso:

- La modelación en GIS del análisis de favorabilidad involucra el cálculo de la idoneidad o favorabilidad minera a partir de mapas geocientíficos. La favorabilidad es calculada pesando y combinando múltiples fuentes de evidencia.
- La asignación de peso a los mapas es realizada analizando la importancia de las evidencias relacionadas con depósitos minerales conocidos, o por evaluación experta de los geólogos de yacimientos.
- Los métodos utilizados en la selección de sitios son prescriptivos, pues involucran un conjunto de criterios dictados por una buena práctica ingeniera y por una mezcla de factores científicos, económicos y sociales.
- La cartografía de la favorabilidad involucra el empleo de métodos predictivos, pues su última finalidad es descubrir nuevos depósitos.
- Los métodos en GIS son considerados como procesos en los cuales un conjunto de mapas de entrada se combinan con una función f para producir un mapa de salida.
- En general, se distinguen tres tipos de métodos: teóricos, de relaciones semi - empíricas y empíricos (basados en relaciones estadísticas y heurísticas).
- La predicción de depósitos minerales se basa principalmente en relaciones empíricas, con la adición de modelos de depósitos. Cada tipo de depósito se conforma por un número de depósitos seleccionados por

ser suficientemente similares en términos de sus características, para ser tratados como un modelo referencial que conduce la investigación hacia la localización de nuevos depósitos del mismo tipo.

En el Análisis multivariado de datos se distinguen cuatro pasos: –Construcción de patrones de diagnóstico. – Mapas Temáticos. –Mapa de evidencias. –Determinación de la Favorabilidad.

Construcción de patrones de diagnóstico.

- a *Análisis crítico.* La génesis de una acumulación mineral muchas veces es un proceso complejo, que se desarrolla en el marco de múltiples eventos regionales y hasta locales, todo lo cual culmina en una multiplicidad de estilos de la mineralización y en las variaciones de los contenidos principales. Cuando se dispone de información sobre depósitos donde ocurre la mineralización buscada, la utilización de un modelo de depósito es la mejor vía para entender los factores geológicos de formación y control y los indicadores de ocurrencia (geofísicos, geoquímicos, etc.) necesarios para conformar un patrón de diagnóstico. Aunque un modelo puede ser estrictamente descriptivo, la mayoría contiene elementos interpretativos que explican las relaciones entre varios rasgos descritos en términos de procesos geológicos y, por tanto, lo robustecen para el objetivo concreto del estudio (Hodgson 1987). Adams (1986) considera que: «Cuando el modelo contiene elementos de diagnóstico en secuencia para alcanzar de manera integrada un objetivo se tiene un modelo de datos-procesos-criterios. Se forma por las características de los datos característicos del tipo de depósito (datos), los procesos que son interpretados como formadores de las características geológicas del depósito (procesos) y aquellas características geológicas más confiables e informativas para la prospección (criterios)». No obstante, siempre se tendrá presente que: «La simplicidad de un modelo

puede reflejar las excelencias de la Ciencia, pero también puede reflejar nuestra ignorancia sobre la complejidad y sutileza de los procesos naturales. Así, puede reflejar tanto nuestra arrogancia como la elegancia de la Ciencia» (Zhin Zu Zhun (1996) en Capote y Santa Cruz Pacheco, 2015).

b *Recomendaciones.*

- En verdad, las complejidades del objetivo y del área de estudio, así como el tamaño y la diversidad del universo de datos disponible constituyen factores esenciales en la elección del tipo de modelo a construir (Capote 2008-b). En el caso de un problema simple, por ejemplo: el potencial bentónico de una formación lito-estratigráfica dada, será suficiente un modelo empírico preestablecido para el tipo de depósito esperado, pues lo que se necesita es encontrar, dentro de secuencias sedimentarias poco complejas y bien definidas de conjunto, aquella variación facial que signifique la acumulación mineral buscada.
- Pero, cuando la tarea es evaluar la potencialidad en un tipo dado de mineralización dentro de un grande y muy complejo universo de datos, se requiere una herramienta discriminatoria mucho más poderosa, siendo en este caso más adecuado el modelo de datos-procesos-criterios (Adams 1986). El sub-tipo de modelo de datos-procesos-criterios utilizado para una evaluación o un reconocimiento, se caracteriza por tener en primer lugar los elementos de la distribución regional de la mineralización buscada, nombrándose aquí sub-tipo evaluativo regional.
- En la construcción del sub-tipo evaluativo regional, resulta frecuente encontrarse que el conjunto de datos e interpretaciones que se tiene sobre un sector presenta discrepancias con respecto a los de otros sectores donde trabajaron otros colectivos de autores, aunque en todos ocurra aparentemente el mismo tipo de mineralización. Esto obliga a la reinterpretación, lo cual exigirá

a su vez la obtención en el campo de nuevos datos. En esta reinterpretación, un aspecto esencial lo resulta la realización para cada sector de un mapa resumen de controladores e indicadores, resultado del análisis de toda la información disponible sobre imágenes de satélite y aéreas. La otra parte consiste en la creación de una detallada base de datos y su correspondiente estudio. Luego de obtenidos para cada sector, por estas dos vías, los criterios sobre formación y los indicadores de ocurrencia son volcados en una tabla donde se hace la generalización, para luego, finalmente, llegar al patrón.

Mapas Temáticos.

- a *Análisis crítico.* Luego de establecidos los patrones de diagnóstico, se organiza y complementan los datos regionales de manera tal que esos patrones reconozcan por repetición o similitud dentro de toda el área. Sin embargo, una tendencia bastante generalizada es, junto con la adopción directa de modelos, usar mapas pretéritos sin validarlos. Por ejemplo, los datos de prospecciones anteriores mostraban que la presencia de granitos de tercera generación constituía un criterio importante, sin embargo, en los mapas regionales del estudio no se tenía cartografiado por edades el magmatismo intrusivo ácido-medio, y no se hizo nada para compensar, o atenuar esta falta. O, se quiere establecer el potencial de yacimientos de arena aluvial en una región donde el modelo de depósito especifica 1 metro el espesor mínimo, y se toma como evidencia un mapa pretérito donde el espesor mínimo del aluvio puede ser 10 centímetros o menos.
- b *Recomendaciones.*
 - Por lo tanto, la creación de un juego de mapas temáticos a la escala del trabajo, representándose en cada uno un grupo determinado de atributos requerirá la reelaboración en la oficina de los mapas pretéri-

tos, o la creación de nuevos mapas cosa que, incluso, podría exigir trabajos de campo. Uno de los problemas más comunes que se presenta en esta etapa, es cuando se necesita para un tema determinado la generalización cartográfica de diferentes mapas, cada uno con diferentes colectivos de autores.

- Antes de continuar, resulta necesario apuntar que de acuerdo con la naturaleza de su información, es posible diferenciar tres grupos principales de mapas: a-mapas de datos procesados, b-mapas con algún grado de interpretación y c-mapas de interpretaciones. En el primer grupo se encuentran los de anomalías geoquímicas, campos geofísicos y otros similares; en el segundo, mapas de alineamientos geofísicos, mapas pronósticos geoquímicos y otros; mientras que el tercero lo integran los mapas litológicos, geo-estructurales, geomorfológicos y otros. Para la generalización en el primero y segundo casos, lo ideal es buscar y reunir los datos primarios de cada trabajo, corregirlos, si procede, y procesarlos todos juntos bajo un sistema único. Cuando esto no es factible debido a que la naturaleza de los datos no es exactamente la misma, entonces, resulta necesario hacer una generalización cualitativa. Un caso muy característico de esta situación se encuentra en los levantamientos geoquímicos, cuando unos están hechos por metalometría con análisis espectrales semicuantitativos y otros provienen del método de sedimentos de flujo, con análisis espectrales cuantitativos. Ante esta situación, una de las vías de solución es interpretar la favorabilidad y la génesis de las anomalías en cada mapa, en atención a su intensidad y composición elemental, respectivamente (Capote y otros, 2002).
- En el caso de los mapas del tercer grupo, practicar la generalización exclusivamente por la vía cartográfica resulta poco válido. Pues, lo más común es que cada interpretación hecha por cada equipo de cartografía a esas escalas presente diferencias conceptuales y en los trazos de los elementos principales. Esta situación no ocurre solamente

debido al alto nivel de subjetivismo de las interpretaciones en áreas poco afloradas, sino también al hecho de que cada mapeo, como regla, representa un particular agrupamiento de variables. Entre estas, se encuentran la disponibilidad de recursos para los trabajos, así como la época y el nivel de conocimiento de la geología del país cuando el estudio fue desarrollado. Cuando se presentan serias incompatibilidades entre los resultados de cada mapa, la generalización implica una reinterpretación de toda el área de estudio. Lo ideal es hacerlo a partir de los datos originales y de trabajos propios de campo y gabinete, pero a veces el tiempo no lo permite. Siendo así, lo factible es hacer un mosaico de mapas, y generalizarlo, apoyados en la aplicación de la tele-detección y la geofísica, con la ayuda de comprobaciones de campo concentradas en los sectores o rasgos más controvertidos.

- De todos los mapas generalizados de interpretación necesarios, uno, cuya utilidad es recurrente en cualquier tipo de estudio y que exige atención especial, es el mapa estructuro-tectónico. Muchas veces, la información estructural que suministran los diferentes mapas anteriores no sólo puede ser contradictoria al respecto de los trazos y estilos de las estructuras que muestran, sino que en su esencia tampoco responde a las exigencias del estudio que se debe hacer. Una de las situaciones más comunes que se presenta, es cuando se quiere desarrollar algún estudio general de minerales formados en épocas pre-orogénicas. No obstante, resulta un hecho el que la mayoría de los trabajos estructurales y tectónicos precedentes muestran, fundamentalmente, las estructuras sin- y pos-orogénicas, objetivo principal de la mayoría de las cartografías convencionales. Mientras, para encontrar las mineralizaciones buscadas, resulta capital el estudio de los procesos relacionados con su formación, lo cual incluye, y muchas veces en un primer lugar, los factores estructuro-tectónicos (Capote y otros, 2002).

Mapa de evidencias.

- a *Análisis crítico.* Es un mapa resumen, que incluye aquellos elementos de los Mapas temáticos que entrarán en el Análisis de favorabilidad.
- b *Recomendación.* Su confección debe estar regida por la jerarquía de atributos aportada por el patrón de diagnóstico.

Análisis de favorabilidad mineral (o de prospectividad).

- a *Análisis crítico.* Como consecuencia directa de las tres etapas anteriores se encuentra el análisis del área de estudio con el fin de detectar nuevas áreas mineralizadas. Sin embargo, resulta común que se polarice el diseño y la ejecución de ella en detrimento de las otras, arribándose por esta vía, indefectiblemente, a resultados equívocos. Un sistema de información geográfica (SIG) representa una formidable herramienta. Pero, no es una vara mágica que sustituya com-

pletamente el análisis experto visual (AEV). Mediante el AEV no sólo se debe siempre valorar y jerarquizar los atributos que entran en el SIG, así como diseñar las variantes de análisis, sino también servirá para evaluar el grado de certidumbre de los resultados finales. El papel del AEV siempre es relevante, pero aumenta geométricamente su importancia en la medida que la situación a evaluar se complejiza, lo cual viene dado, fundamentalmente, por el nivel de dificultad del problema a resolver; así como por la cantidad y la calidad de cada uno de los tipos de datos a procesar (Suárez & Capote 2001).

Los trabajos publicados dentro de las geociencias en el área de modelación pronóstica aplicada a diversos temas, presentan varios métodos probabilísticos y estadísticos, ya consagrados en la literatura, destacándose entre ellos los que se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Revisión de métodos para la producción de mapas de prospectividad mineral. (Modificado de Harris *et al.*, 2001 y de Azevedo Branco *et al.*, 2007).

Método	Criterios para combinarlos datos de entrada
Dirigido por los datos	
Pesos de la evidencia (WofE)	Establecer relación espacial entre ocurrencias conocidas y datos de entrada (uso de probabilidades bayesianas)
Regresión Logística	Uso de áreas de entrenamiento alrededor de cada depósito para recoger estadísticas de cada uno de los layers de entrada -usada para predecir la presencia o ausencia de un depósito mineral
Redes neuronales artificiales	Uso de áreas de entrenamiento alrededor de cada depósito para recoger estadísticas de cada uno de los layers de entrada -usada para predecir la presencia o ausencia de un depósito mineral
Dirigido por el conocimiento	
Lógica Booleana	Suma de mapas binarios
Indexación de niveles de información	Suma de mapas binarios ponderados
Lógica difusa o nebulosa	La membresía o pertenencia de una variable a un conjunto difuso es expresada en una escala continua de 0 (no pertenencia) a 1 (pertenencia total).

- b *Recomendaciones.*
- Cuando se dispone de una gran cantidad de datos e interpretaciones, así como de tiempo y recursos para el procesamiento, es conveniente la aplicación combinada de métodos «dirigido por los datos» y «dirigidos por el conocimiento». Un ejemplo relevante lo aportan Harris y otros (2001) en la evaluación del potencial de oro mesotermal en el cinturón de esquistos verde de Swayze, Ontario, Canadá. Aquí, por un lado, aplican pesos de evidencia y regresión logística, mientras que por el otro usan las superposiciones booleana e indexada, para, finalmente comparar resultados mediante criterios de expertos.
 - Y, para concluir el acápite valga comentar la infundada preferencia que a veces se le otorga a los métodos basados en los datos u «objetivos», con respecto a los basados en el conocimiento o «subjetivos», amparados en la idea de que en los primeros no es imprescindible el conocimiento experto, mientras que en los segundos, sí lo es. Pues, el hecho de que en los métodos basados en los datos se entrena y perfecciona el método de reconocimiento a través de las informaciones provenientes de una parte de la ocurrencia mineral disponible, y se efectúa la valoración de la eficacia mediante el uso del resto; de esta forma, se crea a veces la ilusión de que por esta vía se puede dejar a un lado, incluso desde el inicio de la investigación, la experiencia en la búsqueda de minerales. Pero, si bien en la aplicación correcta de alguno o varios métodos de este grupo puede estar la solución más eficaz, la realidad muestra que el conocimiento experto debe guiar en todo momento la investigación. Un ejemplo simple aunque frecuente de uso no experto de un método «desde los datos» está en la mala elección de la ocurrencia mineral. Ya que, si se considera que se dispone de esta, y lo que en verdad se tiene son puntos de mineralización, denuncios mineros orales o mal documentados, perforaciones aisladas sin

ensayos básicos y otros datos de similar naturaleza, se estará invalidando irremediablemente la carga mineral, tanto la de entrenamiento como la de validación.

Análisis crítico y recomendaciones para el Reconocimiento Geológico (RG).

- a *Análisis crítico.* Cuando el RG no es eficaz, sucede (**Figura 2**):
- No se ha tomado en cuenta el grado de dificultad de la investigación.
 - Tiempo de ejecución prolongado, y alto costo.
 - No obstante, en lugares con aflorabilidad entre baja y ausente, es frecuente que se proyecten métodos directos, como la perforación y los laboreos, muy por debajo de lo necesario.
 - Bajo poder de discriminación de las áreas que pasan a la prospección.
 - Entrega a la prospección de recursos insuficientemente estudiados.
 - Prospección prolongada, costosa. Y también poco eficaz.
- b *Recomendaciones.*
- Asegurarse que los precios del mineral buscado sustentan el seguir adelante en la investigación, considerándose también la accesibilidad.
 - En los casos que la aflorabilidad es baja o inexistente, es necesarios tomar para la cartografía geológica, la geoquímica y la geofísica medidas semejantes, pero a una escala mayor, a las recomendadas para la EP.
 - Además, ejecutar un complejo de métodos geofísicos complementarios que apoye la inferencia en superficie y en profundidad de las acumulaciones buscadas.
 - Aplicar de forma tal los métodos directos (muestreo de afloramientos, perforaciones, laboreos mineros superficiales, etc.) que permitan la obtención de perfiles transversales «cubiertos» (o «cerrados»).

CONCLUSIONES GENERALES.

1. La Búsqueda constituye una herramienta

indispensable para el aprovechamiento racional de los recursos minerales, pues es la encargada de encontrar los nuevos depósitos. Pero, el trópico húmedo impone grandes obstáculos para practicarla eficazmente, y el estatus «en vías de desarrollo» significa la inviabilidad de adquirir toda la tecnología que ello exige.

2. Sin embargo, no se encontraron disponibles documentos metodológicos que guíen la investigación dentro de esta realidad por el camino correcto.
3. El presente trabajo, basado en el análisis crítico de textos metodológicos e informes de prospección, ofrece recomendaciones para la práctica eficaz de la Búsqueda de minerales útiles metálicos y no metálicos en países en vías de desarrollo del trópico húmedo.
4. De esta forma, se inicia una Breve Guía Metodológica cuyo perfeccionamiento por parte de todos los interesados redundará, sin dudas, en beneficios para el desarrollo próspero y sostenible de una gran cantidad de países.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Adams, S.**, 1986, Using geological information to develop exploration strategies for epithermal deposits, in Berger & Bethke (eds.), *Geology and Geochemistry of Epithermal Deposits Systems, Reviews in Economic Geology*, v. 2, Society of Economic Geologists, pp. 273-298.
- Barbosa Landim P. M., Bandeira de Mello C. S., da Silva Serra A. C., Macedo A. B.**, 2007, Metodologia estatística multivariada em geoquímica, em *Prospecção geoquímica (Depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gas)*. CPRM, Editores: Boni Lic., pp. 619-660.
- Bonham-Carter, G. F.**, 1994, *Geographic Information Systems for Geoscientists, Modelling with GIS*, Pergamon, Ontario, pp. 398.
- Bonham-Carter, G. F., Agterberg F. P., Wright D. F.**, 1988, Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 54, no. 11, pp. 1585-1592.
- Boni-Licht, O. A., de Azevedo Branco P. C.**, 2007, Primórdios da prospecção geoquímica, em *Prospecção geoquímica (Depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gas)*. CPRM, Editores: Boni Lic., pp. 13-96.
- Capote, C.**, 2005, Una confrontación imprescindible para la salud de la geología del siglo XXI: interpretación de imágenes de teledetección vs «cyberlectura». *Boletín de la Sociedad Cubana de Geología*. Vol. 5, No.1. Enero-Abril 2005: pp. 8-9.
- Capote, C.**, 2008-a, Sobre Control de la Calidad y Subjetivismo en las Investigaciones Geológicas. *Geoinformativa (IGP, Cuba)*, (vol. 10): pp. 12-20.
- Capote, C.**, 2008-b, Recomendaciones para el diagnóstico y detección de nuevas áreas de mineralización. *Geoinformativa (IGP, Cuba)*, (vol. 8), pp. 5-13.
- Capote C.**, 2012-a, Procedimientos para informe y proyecto de Evaluación de Potencial: La Habana, Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Informe para Proyecto I+D Instrucciones de la Actividad Geológica de Minerales, pp. 42.
- Capote C.**, 2012-b, Procedimientos para informe y proyecto de Reconocimiento Geológico: La Habana, Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Informe para Proyecto I+D Instrucciones de la Actividad Geológica de Minerales, pp. 39.
- Capote C.**, 2018, Aplicación de la Teledetección y la Fusión de Datos en la Búsqueda Mineral dentro del Trópico Húmedo y en Desarrollo, en *Simposio SELPER Internacional*, La Habana, Memorias.
- Capote, C.**, Santa Cruz Pacheco M., González D., Altarriba I., Bravo F., Carrillo D., De La Nuez D., Cazañas X., 2002, Reevaluación del Potencial de Metales Preciosos y Base en el arco cretácico del territorio Ciego-Camagüey-Las Tunas, a escala 1:100 000: La Habana, Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Informe para Proyecto I+D 224, pp. 150.

- Capote C., M. Santa Cruz Pacheco**, 2015, Programa de Oro Nacional 012-025: 2- Propuesta de Actualización Metodológica del Reconocimiento Geológico: La Habana, Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Informe técnico presentado en los eventos municipal y provincial del Fórum de Ciencia y Técnica de 2015, pp.56.
- Capote C., López-Krámer J., Santa Cruz Pacheco M., López-Cruz O., De la Paz Marrero D.**, 2017, Sobre la riqueza aurífera nacional y una propuesta de búsqueda de nuevos yacimientos de oro, Informe para Proyecto I+D Estrategias de la Prospección de Oro en Cuba, pp. 46.
- Crósta, A. P.**, 1993, Processamiento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. 1 ed. Campinas, UNICAMP, São Paulo. pp. 170.
- De Azevedo-Branco P. C., Düringer P., Manzini M., Franca Rocha W.**, 2007, Integração de mapas multitemáticos em exploração mineral, utilizando sistemas de informações geográficas: aplicações com dados de prospecção geoquímica, em Prospecção geoquímica (Depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gas). CPRM, Editores: Boni Lic., Bandeira de Mello, da Silva, pp. 373-432.
- De Queiros Mattoso S. M., Laquintinie Formoso L.**, 2007, Princípios básicos para prospecção geoquímica, em Prospecção Geoquímica (Depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gas), CPRM, Editores: Boni Lic., Bandeira de Mello, da Silva, pp. 97-152.
- Harris J. R., Wilkinson L., Heather K., Fumerton S., Bernier M. A., Ayer J., Dahn R.**, 2001, Processing Techniques for Producing Mineral Prospectivity Maps. A Case Study: Mesothermal Au in the Swayze Greenstone Belt, Ontario, Canada. Natural Resources Research, vol.10, n.2, pp. 91-124.
- Hodgson, W.**, 1987, Proceedings of Exploration '87, Ontario Geological Survey Special Volume 3. Edited by G.D. Gorland, 1987.
- Lima da Costa M.**, 2007, Introdução ao intemperismo laterítico e à lateritização, em Prospecção geoquímica (Depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gas), CPRM, Editores: Boni Lic., Bandeira de Mello, da Silva, pp. 199-244.
- Ramos M. M., Lopes I., Machado G. J.**, 2007, Técnicas de prospecção geoquímica, em Prospecção geoquímica (Depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gas), CPRM, Editores: Boni Lic., Bandeira de Mello, da Silva, pp. 279-306.
- Suárez, A., Capote C.**, 2001, Nuevos sectores favorables auríferos en la Zona Cascorro, provincia de Camagüey, en IV Congreso de Geología y Minería, de la Sociedad Cubana de Geología. Ciudad de La Habana, marzo, Proceedings.

Manuscrito recibido: 07 de noviembre de 2018.

Manuscrito corregido: 13 de noviembre de 2018

Manuscrito aceptado: 04 de diciembre de 2018

