



ACERCA DE LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RECURSOS DE ASFALTITAS Y ROCAS BITUMINOSAS DE LA REGIÓN HABANA-MATANZAS

Jorge Luis Torres Zafra

1. Instituto de Geología y Paleontología, Cuba, Vía Blanca No. 1002 y Carretera Central. San Miguel del Padrón CP 11 000, La Habana, zafra@igp.minbas.cu

RESUMEN

Una tarea de la investigación geológica es la evaluación de las posibilidades de encontrar nuevos yacimientos en un marco geológico determinado. Aquí se presenta un ejemplo de aplicación a materias primas energéticas del método de los pesos de evidencia (superposición indexada de mapas de evidencia), una metodología de uso común en el mundo para el pronóstico de recursos minerales metálicos. La investigación realizada, consistente en la evaluación del potencial de asfaltitas y rocas bituminosas en seis sectores de interés, ubicados en las provincias Artemisa, La Habana, Mayabeque y Matanzas, permitió comprobar su plena aplicabilidad al estudio de estos recursos energéticos. La misma fue utilizada en una primera fase (pesado interno de las evidencias) de modo dirigido por datos y en la segunda (pesado externo de las evidencias) de modo dirigido por el conocimiento. Finalmente, el estudio fue completado con trabajos geoquímico - geofísicos de campo y una estimación cuantitativa de los recursos no identificados.

Partiendo de los datos disponibles y de dos modelos de depósitos bituminosos: vetiforme subvertical y estratiforme subhorizontal, se delimitaron, en mapas a escala 1:100 000, 29 áreas perspectivas para asfaltita y 31 para rocas bituminosas. Los resultados de campo sugieren que los mapas obtenidos reflejan adecuadamente, para la escala y grado de detalle de la investigación realizada, la realidad geológica objeto de estudio. Finalmente, la investigación estableció la existencia de significativas perspectivas para asfaltitas en la provincia Artemisa y para rocas bituminosas en las provincias Mayabeque y Matanzas.

ABSTRACT

One of the tasks in geologic investigation is evaluating the possibilities of finding new locations in certain geologic settings. An example of the use of the Weights of Evidence method (indexed overlapping of evidence maps) is here shown as applied to the search for energy commodities. This is a methodology worldwide used for the mineral metallic resource prognosis. Our research consisted of evaluating the potentialities of asphaltite and bituminous rocks in six locations of Artemisa, Havana, Mayabeque and Matanzas provinces which allowed checking the full applicability of the method for getting such potential resources. A first stage led to the data-driven inner weight of evidences, while the second phase characterized by the knowledge-driven external weight of evidences. The study was finally complemented with geochemical—geophysical field work and a quantitative estimation of the non-identified resources.

From the available data and the two models of bituminous deposits —a sub-vertical veiniform and a sub-horizontal stratiform— perspective areas from which 29 for asphaltite and 31 for bituminous rocks were all defined and mapped at 1:100 000 scale. Fieldwork results suggest that from the scale and detail level of the maps obtained the geologic realities of those territories under study were well represented. This research allowed establishing the existence of significant perspectives of asphaltite in Artemisa province, and bituminous rocks in Mayabeque and Matanzas provinces.



INTRODUCCION

Una de las tareas prácticas de la investigación geológica es la evaluación de las posibilidades de encontrar nuevos yacimientos de una u otra materia prima en un marco geológico y geográfico determinado. En esta dirección se ha vuelto habitual el empleo de las metodologías de evaluación del potencial de recursos minerales a través de plataformas SIG. Las herramientas SIG y metodologías asociadas son utilizadas, principalmente, para la evaluación del potencial de recursos minerales metálicos. Sin embargo, en la presente investigación, las mismas son aplicadas a la evaluación de las perspectivas existentes, en una región dada, para la localización de asphaltitas y rocas bituminosas, dos materias primas energéticas con posibilidades de empleo en otros campos.

Por razones históricas, de prácticas de explotación, de tecnologías empleadas, de procesamiento y de comercialización, el petróleo convencional (ligero, medio y pesado), ha sido separado de los restantes bitúmenes naturales asfálticos, siendo estudiado, prospectado y asimilado industrialmente de modo independiente. Sin embargo, el continuo y acelerado avance de la ciencia y la tecnología, expresada en el desarrollo impetuoso de los métodos de recuperación mejorada de petróleo (RMP) y de extracción minera y beneficio industrial de las rocas bituminosas, hace cada vez más difusa esta división. En este contexto, el estudio de los otros bitúmenes naturales asfálticos (asphaltitas, rocas bituminosas y asfalto) resulta de gran importancia para Cuba, teniendo en cuenta la conocida abundancia de sus manifestaciones y la trascendencia, en sentido general, del tema energético.

Aunque en gran parte del territorio septentrional de Cuba existen condiciones geológicas favorables para la existencia de estas materias primas bituminosas, es en la región extendida por la parte septentrional de las provincias Artemisa, La Habana, Mayabeque y Matanzas, situadas en la parte occidental de Cuba, donde se concentran, de acuerdo con el conocimiento geológico actual, los mayores depósitos conocidos, asociados, espacial y genéticamente, con la Faja Norte de Crudos Pesados, cadena de yacimientos petrolíferos extendida a lo largo de la costa norte de las mencionadas provincias. Es también en el mencionado territorio, enmarcado entre las latitudes $22^{\circ} 49' 00''$ N y $23^{\circ} 13' 00''$ N y entre las longitudes $83^{\circ} 00' 00''$ W y $80^{\circ} 46' 00''$ W, donde existe el más elevado grado de estudio pretérito sobre estas materias primas multipropósitos, existiendo amplios antecedentes históricos de explotación y empleo, mucho más extensos para las asphaltitas que para las rocas bituminosas. Por ello, esta fue la región escogida para la realización de la investigación.

La perspectividad de esta región del país para asphaltitas y rocas bituminosas fue expuesta y argumentada detalladamente por Cruz y Torres (1994). En esa ocasión fueron identificadas, dentro del territorio entonces estudiado (desde la parte oriental de la provincia Artemisa hasta el extremo NW de la provincia Matanzas), varias zonas (sectores) altamente perspectivas para el hallazgo de nuevos depósitos de ambas materias primas.

El objetivo central de la investigación realizada fue efectuar la evaluación cualitativa y cuantitativa del potencial de materias primas bituminosas para seis sectores de interés (denominadas Mariel - Cayajabos, Banes, Bejucal, Jaruco - Santa Cruz del Norte, Corral Nuevo y Martí), mediante la ejecución de trabajos más precisos y amplios que los realizados con anterioridad (ver Figura 1).

En el presente trabajo, el termino **bitumen** se emplea, siguiendo a Meyer y Witt (1990), en sentido amplio, abarcando al petróleo y todas las demás sustancias naturales afines a él (asfalto, asphaltitas y otras). Por otro lado, **roca bituminosa** es aquella roca sedimentaria que contiene petróleo extrapesado, bitumen y/o asfalto, pudiendo contener también petróleo pesado, con independencia de su composición litológica. La presente definición abarca los términos "oil shale", "oil sand" y "rocas petrolíferas", utilizados por diversos autores. Es de destacar que la presencia, en distintas partes del depósito, de los tres tipos señalados de bitumen (petróleo pesado, petróleo extrapesado y asfalto),



reflejando diferentes niveles de degradación de un mismo tipo de petróleo original, es una característica bastante frecuente en los depósitos de rocas bituminosas. La **asfaltita**, por su parte, es un bitumen sólido de color oscuro, no volátil y con alto punto de reblandecimiento, cuya composición refleja la del crudo original y las particularidades del proceso de degradación experimentado. Dentro de las asfaltitas se distinguen tres tipos o variedades: **gilsonita**, **glance pitch** y **grahamita**. Las dos primeras se distinguen por su elevada pureza, mientras que la tercera se caracteriza por su más elevado punto de reblandecimiento y mayor contenido de ceniza, normalmente superior al 20 %. Finalmente, el término “**recurso bituminoso**” se emplea para referirse a la acumulación materia prima útil in situ compuesta por bitúmenes de génesis petrolífera y materia mineral inorgánica.

Como puede constatarse en la Figura 1, la región donde se ubican los sectores objeto de estudios se caracteriza por una desarrollada infraestructura urbana (ciudades de La Habana y Matanzas) y portuaria (puertos de Mariel, La Habana y Matanzas. Aunque no se muestra en la figura, también cuenta con una buena cobertura de carreteras y ferrocarriles, lo cual permite el fácil acceso a cada uno de los mencionados sectores.

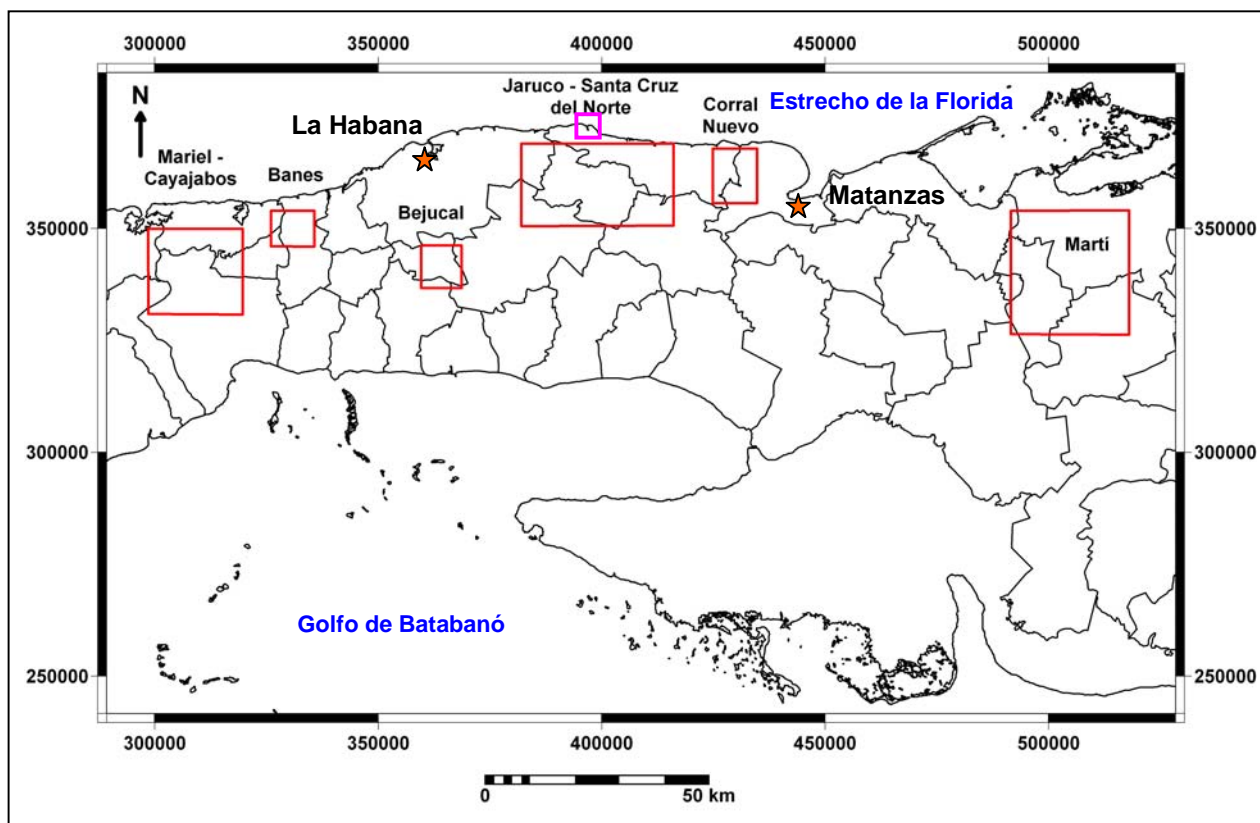


Figura 1. Mapa de ubicación a escala 1:1000 000 de los seis sectores de interés. En rojo aparecen los límites de los sectores. En magenta la ubicación del prospecto Margas Bituminosas Boca de Jaruco. En negro, la división política administrativa municipal y las costas. Estrellas naranjas: ciudades principales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La realización exitosa de una evaluación de potencial depende, ante todo, del nivel del conocimiento geológico existente acerca de la región objeto de estudio y como un reflejo de este conocimiento, de la posibilidad de representar espacialmente el número suficiente de evidencias asociadas con el



modelo (o modelos) de depósito buscado. De lo anterior se deduce que el primer paso ha de ser definir el o los modelos de depósitos y a continuación identificar las evidencias cartografiables. A continuación procede el estudio de la relación entre las ocurrencias conocidas de la mineralización o materia prima buscada y cada una de las evidencias seleccionadas, lo cual permite establecer el peso interno (asignación de valores a los rangos de clase) de cada evidencia en particular. Este paso de la evaluación de potencial es, por tanto, esencialmente dirigido por los datos. Posteriormente, la comprensión existente acerca del lugar y el papel de cada evidencia en la génesis del tipo de depósito buscado y en el control de su distribución espacial, permite establecer la importancia de cada evidencia dentro del modelo descriptivo-genético de mineralización concebido. Esto último sirve de base al establecimiento del peso externo (peso de la evidencia) a aplicar a cada una de ellas durante el proceso de integración de los datos espaciales. Este paso, a diferencia del anterior, es, por tanto, ejecutado de modo esencialmente dirigido por el conocimiento.

De esta concepción general de cómo abordar la evaluación de potencial, se derivó la ejecución secuencial y ordenada de las siguientes tareas:

1. Recopilación de la información existente, resultado de trabajos pretéritos, sobre los depósitos de asfaltitas y rocas bituminosas conocidas en el territorio a estudiar y elaboración de una BD georreferenciada con información sobre ellos.
2. Identificación o establecimiento de los modelos de depósitos a utilizar. Ajuste de los mismos.
3. Obtención de una base tectónica detallada a escala 1:50 000, a partir de fotos aéreas e imágenes cósmicas, de los sectores de interés a estudiar, necesaria para identificar los controles tectónicos de la mineralización bituminosa en la región.
4. Procesamiento de los materiales geológicos y geofísicos para la confección de los mapas de evidencia a utilizar en la evaluación del potencial de recursos minerales.
5. Ejecución de la integración automatizada de datos espaciales.
6. Interpretación de los resultados y delimitación de las áreas perspectivas para la ejecución de futuros trabajos.
7. Estimación del potencial cuantitativo de recursos no identificados.
8. Realización de trabajos geofísicos de campo para obtener datos adicionales de apoyo a la estimación cualitativa y cuantitativa del potencial.

El estudio de la información recopilada acerca de los depósitos y ocurrencias de asfaltitas y rocas bituminosas, así como de manaderos de petróleo extrapesado y asfalto, permitió agrupar los mismos en dos modelos de depósitos (Figura 2).

- Vetas subverticales de asfaltitas (y de rocas asfaltíticas).
- Depósitos estratiformes de rocas bituminosas.

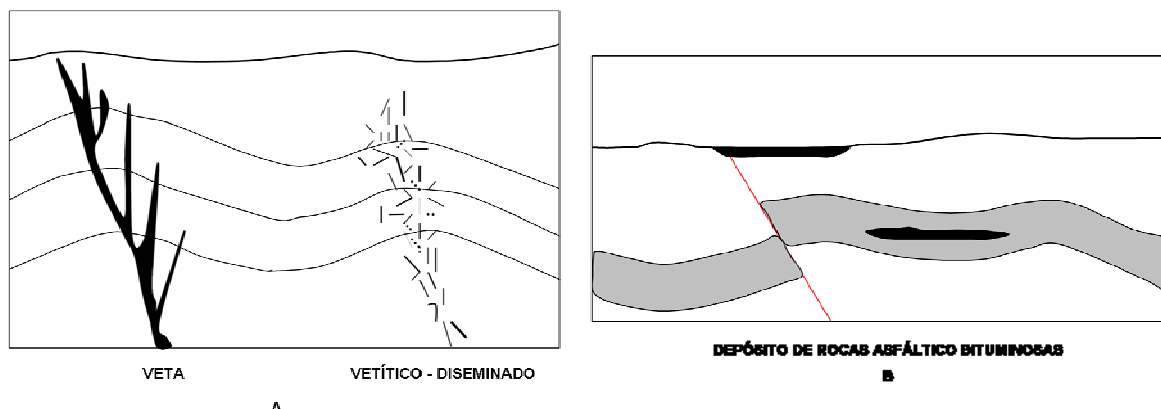


Figura 2. Representación esquemática generalizada de los modelos de depósitos de recursos bituminosos. A) Vetas subverticales de asphaltitas y rocas asphaltíticas. B) Depósitos estratiformes de rocas bituminosas. En el esquema A el color negro identifica a la asphaltita masiva. En el B el color gris identifica a la roca bituminosa y el negro a los lagos de asfalto y zonas de rocas poco consolidadas con contenidos muy altos de bitumen.

El primero agrupa a su vez a las vetas masivas de asphaltita y a las zonas mineralizadas vetiformes formadas por asphaltita diseminada dentro de la roca encajante, conformando la materia prima denominada “roca asphaltítica”. El segundo modelo incluye, como caso particular, a los lagos de asfalto.

Como ejemplos patrones del primer tipo se tiene a **Manuela** (veta de asphaltita masiva) y **Arrempuja** (veta de roca asphaltítica), ambos ubicados en el sector Mariel – Cayajabos (provincia Artemisa). Dentro del segundo tipo, se consideran como patrones los depósitos **Peñón** (sector Martí, provincia Matanzas) y **Margas Bituminosas Boca de Jaruco** (municipio Santa Cruz del Norte, provincia Mayabeque).

En la evaluación del potencial de recursos minerales para los dos modelos de depósitos establecidos, fueron utilizadas, ajustadas a las características de cada uno de ellos, las siguientes evidencias:

- Localización dentro de unidades litoestratigráficas y litológicas favorables (asociación espacial con formaciones productivas y favorables).
- Cercanía a fallas locales y regionales.
- Asociación espacial con mínimos locales de campo magnético total y con valores negativos del mismo.
- Asociación espacial con anomalías de concentración del radioelemento U(Ra).

Aunque los modelos ofrecen un número mayor de evidencias utilizables (ver discusión), solo se emplearon las arriba señaladas por ser las disponibles, en virtud del grado de conocimiento geológico existente en la región sujeta a estudio. Esto es de lamentar, pues, como la experiencia indica, mientras más sean las evidencias disponibles, mejores resultados puede ofrecer la evaluación de potencial

De los mapas tectónicos interpretativos a escala 1:50 000, obtenidos para cada sector de interés como resultado de la interpretación de fotos aéreas e imágenes cósmicas, fueron extraídas por separado las fallas locales y regionales, así como las morfoanomalías anulares correspondientes a cada sector. A partir de los mapas monotemáticos de este modo elaborados, se determinó la distancia entre cada ocurrencia de bitumen y las estructuras tectónicas (falla local, falla regional) más cercanas, así como el rumbo de dichas estructuras, siendo los valores obtenidos asentados en un



libro de EXCEL, siempre que las distancias fuesen inferiores a 500 m. Además se incluyó como dato la presencia de morfoanomalías anulares (si la ocurrencia se halla en su interior), dado el hecho de que las mismas reflejan, entre otras posibles causas, la presencia de zonas de fracturación o de plegamiento, rasgos geológicos que favorecen la ocurrencia de depósitos bituminosos.

Las tablas fueron confeccionadas para las asphaltitas (56 depósitos) y para las rocas bituminosas (34 depósitos), por ser los dos modelos de depósitos de bitúmenes objeto de la evaluación de potencial. Además, se confeccionaron tablas similares para asfalto y petróleo extrapesado (27 ocurrencias), por cuanto los mismos pueden, en una parte de los casos, reflejar la presencia de depósitos de rocas bituminosas no aflorantes y no identificados como tales. En todas las tablas, las ocurrencias fueron agrupadas por sectores de trabajo y por tipo de materia prima, calculándose la distancia media de las mismas a los diferentes tipos de estructuras tectónicas cartografiadas. Para establecer cuales son las direcciones más favorables para la presencia de depósitos de bitúmenes, es decir las de mayor papel en el control estructural de la mineralización bituminosa, las estructuras registradas en las tablas en EXCEL mencionadas fueron clasificadas por su azimut, agrupadas por intervalos de 30 grados. Finalmente, para el pesado interno de las evidencias tectónicas “asociación con fallas locales” y “asociación con fallas regionales”, se utilizó el grado de favorabilidad de las diferentes direcciones para cada uno de los dos modelos de depósitos considerados, expresada a través de la cantidad de ocurrencias asociadas con cada rango de azimut y de la categoría de las mismas (punto de mineralización, manifestación, prospecto).

En el caso de la geofísica, los datos iniciales utilizados proceden de los mapas digitales a escala 1:50 000 resultantes de los levantamientos aerogeofísicos (espectrometría de rayos gamma y magnetometría) ejecutados como parte de la cooperación técnica entre organismos cubanos y rusos entre los años 1981 y 1990. A los mapas gamma espectrométricos aéreos (canal U (Ra)) y aeromagnéticos de campo total reducido al polo, pertenecientes a cada uno de los sectores de interés, se les superpuso los correspondientes mapas de ocurrencias bituminosas, operación mediante la cual fueron obtenidas tablas contentivas, para cada uno de los sectores de trabajo, de los valores del campo magnético total reducido al polo (en nT) y de contenido (en ppm) del radioelemento U(Ra) asociados a cada una de las ocurrencias registradas. Estas tablas sirvieron para examinar, con más detalle, la existencia de regularidades en la distribución de los depósitos de bitúmenes con relación al campo magnético y a la concentración del radioelemento U(Ra), así como para establecer los rangos de clases dentro de cada uno de los mapas examinados. El pesado interno de las evidencias geofísicas se realizó atendiendo a la densidad de ocurrencias conocidas observada para cada rango de clase, de la cantidad de ocurrencias presentes en la misma y de su categoría (punto de mineralización, manifestación, prospecto).

Del mapa Geológico digital a escala 1:100 000 del IGP (versión Abril 2011) fueron extraídas las formaciones productivas y favorables para asphaltitas y rocas bituminosas. La identificación de las mismas se realizó estableciendo cuales unidades litoestratigráficas contienen más depósitos espacialmente relacionados con ellas. A la hora de identificar las formaciones productivas y favorables, en el caso de las rocas bituminosas, se tuvo en cuenta además la presencia de ocurrencias de asfalto y petróleo extrapesado en las unidades seleccionadas, las cuales pudieran constituir indicadores en superficie de la presencia de depósitos de esta clase subaflorantes o situados a profundidades someras. En el proceso de selección fue así mismo tomada en cuenta la composición litológica de las unidades consideradas y sus relaciones estratigráficas, especialmente en el caso de las rocas bituminosas, para las cuales, en algunos casos, se conoce, por resultados de perforaciones, que la unidad portadora más favorable, con presencia de mineralización bituminosa, es cubierta por otra menos favorable. Así, por ejemplo, la Fm. Consuelo, a pesar de no contener bitúmenes, es considerada productiva por sobreyacer, en el sector Jaruco - Santa Cruz del Norte, al Gp. Universidad y la Fm. Peñalver, que si lo son realmente. Lo mismo ocurre con la Fm. Jaruco. En el



caso de la Fm. Amaro, sin ocurrencias de bitúmenes en sus áreas afloradas dentro del territorio estudiado, la misma se reporta como portadora de bitumen en perforaciones ubicadas entre Guanabo y Varadero (Linares y otros, 2011). De este modo, se obtuvo una representación espacial más real de la evidencia “control litoestratigráfico”.

Los rangos de clase que componen todos los mapas de evidencias confeccionados fueron pesados en un rango de valores entre 0 y 10. Con ello se aseguró la igualdad inicial de peso entre todas las evidencias, una condición necesaria para el diseño correcto de las ecuaciones finales de integración.

La confección de los mapas de evidencia y la integración de datos espaciales para la evaluación cualitativa del potencial de recursos se realizó en una plataforma SIG (ILWIS Open), empleando el método de los pesos de evidencia (superposición indexada de mapas de evidencia), una metodología de uso común en el mundo para la evaluación de potencial de recursos de minerales metálicos (Bonham-Carter, 1994) y, como pudo comprobarse, plenamente aplicable a los recursos bituminosos. Esta evaluación de potencial fue llevada a cabo para los dos modelos de depósitos establecidos en la investigación.

RESULTADOS

Como resultado del proceso de evaluación de potencial se obtuvieron cinco mapas, a escala 1:100 000, de potencial de recursos para asphaltita, correspondientes a los sectores Mariel - Cayajabos, Banes, Bejucal, Jaruco - Santa Cruz del Norte y Corral Nuevo, así como cinco mapas (a igual escala) de potencial de recursos para rocas bituminosas, correspondientes a los sectores Mariel - Cayajabos, Bejucal, Jaruco - Santa Cruz del Norte, Corral Nuevo y Martí. Así mismo, se estimó el potencial cuantitativo de recursos no identificados para asphaltitas (y rocas asphaltíticas) y para rocas bituminosas. Estos recursos fueron subdivididos, atendiendo a su grado de certeza, en las categorías de Hipotéticos y Especulativos, en concordancia con la clasificación de recursos y reservas vigente en la nación.

Dentro de los seis sectores de interés, fueron identificadas un total de 29 áreas perspectivas para asphaltita y de 29 áreas perspectivas para rocas bituminosas, desglosadas como indica la tabla I.

Tabla I. Distribución de áreas perspectivas por sectores de interés dentro de la región estudiada

Sector	Áreas para asphaltita y roca asphaltítica	Áreas para rocas bituminosas
Mariel - Cayajabos	11	7
Banes	3	0
Bejucal	3	3
Jaruco – Santa Cruz del Norte	8	8
Corral Nuevo	4	4
Martí	0	7
Fuera de los 6 sectores	0	2

Las mayores perspectivas para asphaltitas y rocas asphaltíticas se concentran en el sector Mariel - Cayajabos, seguido por el sector Banes, (ambos ubicados en la provincia Artemisa). En el sector Bejucal, aunque la magnitud de los recursos estimados es considerable, la gran mayoría de los mismos corresponde a rocas asphaltíticas con más de 65 % de cenizas, lo cual reduce su atractivo para futuros estudios. Para ambas materias primas, el potencial fue evaluado, en los tres sectores, hasta los 150 m de profundidad.



Para rocas bituminosas, los sectores más perspectivas son Jaruco - Santa Cruz del Norte y Martí. En el primer sector, la estimación de recursos no identificados se realizó hasta una profundidad límite de 300 m, mientras que en el segundo se hizo solo hasta los 100 m de profundidad, excepto en dos objetivos, donde fue posible, en virtud de la información disponible, extenderla hasta los 200 m de profundidad. Resulta necesario destacar que, en ambos sectores, la totalidad del potencial de recursos no identificados estimado se encuentra concentrado en áreas de no más de 13 x 12 km. Ello presupone una gran ventaja para la inversión, en caso de obtenerse, como producto de futuros trabajos de prospección, resultados positivos. A lo anterior se agrega la existencia, en ambos sectores, de una buena infraestructura vial y ferroviaria.

En el caso del sector Jaruco - Santa Cruz del Norte, es necesario destacar que el potencial de recursos estimado, al ser limitado al intervalo de profundidades de 0 a 300 m, no incluye el potencial del segundo horizonte de rocas bituminosas revelado por el pozo San Lázaro 1 (de 773 m de profundidad, perforado en 1956), ubicado entre 418 y 566 m de profundidad. Tampoco incluyó los cuantiosos recursos del prospecto Margas Bituminosas Boca de Jaruco, ubicado inmediatamente al N del sector (ver Figura 1), los cuales yacen entre 460 y 781 m de profundidad, interceptados por unos 100 pozos de exploración-producción, pertenecientes al yacimiento de petróleo Boca de Jaruco.

Aunque también hay perspectivas para rocas bituminosas en los sectores Corral Nuevo y Bejucal, estas son claramente inferiores a la de los sectores antes mencionados. En el caso del sector Mariel - Cayajabos, aunque fueron delimitadas 7 áreas perspectivas para rocas bituminosas, no fue posible cuantificar su potencial por falta de los datos mínimos necesarios para hacerlo, dado que este tipo de materia prima, a pesar de haber evidencias que atestiguan su presencia, nunca ha sido objeto de estudio dentro de este sector.

En el territorio de las provincias abarcadas por la investigación (Artemisa, La Habana, Mayabeque y Matanzas), pero fuera de los 6 sectores de interés estudiados en detalle, aparecen otras 2 áreas perspectivas para rocas bituminosas dignas de ser mencionadas. La primera es el depósito "Mina Carmen", situado en la provincia La Habana y cuyo potencial de recursos fue evaluado con anterioridad (Cruz y Torres, 1994). La segunda área perspectiva se halla a unos 6 km al SSE de Boca de Camarioca y a 11,5 km casi al W de Cárdenas, en la provincia de Matanzas. La misma abarca unos 10 km² y contiene varias manifestaciones superficiales de petróleo extrapesado y asfalto cercanas entre sí.

DISCUSIÓN

Depósitos patrones y modelos de depósitos

Como ya se indicó, la investigación realizada permitió distinguir dos modelos básicos de depósitos bituminosos: vetítico subvertical y estratiforme subhorizontal. El prospecto Manuela constituye el ejemplo patrón del primer modelo, en su variante de veta de asfaltita masiva. Por su parte Arrempuja es un excelente ejemplo de la variante vetítico-diseminada (roca asfaltítica). Ambos depósitos se ubican en el Sector Mariel - Cayajabos (provincia de Artemisa).

Manuela es una veta de asfaltita masiva que se extiende desde la superficie hasta los 170 m de profundidad, con 420 m de longitud por el rumbo, el cual es N - S. Buza 70 - 90 grados al W, estando afectada por varias fallas que complican su morfología, fusiforme en el plano. Entre ellas, las de rumbo submeridional controlan la ubicación espacial del depósito, mientras las de rumbo NE y NW son postminerales y lo desplazan. La veta aflora, observándose en la cantera abierta y su espesor tiende a aumentar desde la superficie hasta la cota -30 m. Así, en el nivel +30 m, oscila entre 2 - 4 m, llegando hasta 10 m. En el nivel 0 está entre 10 - 12 m, alcanzando hasta 20 m, mientras que en el



nivel -30 m, cuando la longitud por el rumbo de la veta se reduce a 250 m, su potencia oscila entre 4 y 25 m. A partir de ahí, el espesor se reduce y a los 130 m de profundidad, no rebasa los 2 m. La secuencia encajante, finamente estratificada, es formada por un flysch calcáreo-arenoso-margoso (Formación Capdevila, del Paleoceno Inferior). La materia prima es grahamita. Su temperatura de ablandamiento es de 170 °C. La composición de la asphaltita, cruda y beneficiada, según Casanovas (1970) y Cruz (1994) están en las tablas II y III, ofreciéndose también la reportada para una muestra tecnológica enviada a un laboratorio de Essen (Alemania) en 1959 (Casanovas y otros, 1970).

Tabla II. Composición de la asphaltita cruda de Manuela

Parámetro	Valor promedio *	Rango de variación **	Reporte Essen ***
Cenizas (%)	46,32	41,28 - 48,67	43,10
Carbono fijo (%)	53,25	50,92 - 58,25	
Azufre (%)	5,63	5,17 - 6,37	5,93
Materia volátil (%)			43,35
Humedad natural (%)	3,29		3,04
Peso Volumétrico (t/m ³)	1,51		

*Cruz (1994). **Casanovas (1970). *** (Casanovas y otros, 1970)

Arrempuja, por su parte, es una veta subaflorante de roca asphaltítica, compuesta por asphaltita diseminada en vetillas, nidos y pequeños bolsones, tiene una longitud de 1000 m por el rumbo (NE), presentando una configuración bastante rectilínea. Buza 60° - 80° al NW, presentando un espesor de 1 m a 3 m, llegando hasta los 10 m. En su parte central, el cuerpo mineral es constituido por varias vetas individuales de asphaltita semimasiva, paralelas y estrechas, muy cercanas entre sí. El depósito se acuña aproximadamente a los 95 m de profundidad. La materia prima es roca asphaltítica, variando su calidad por el rumbo y por el buzamiento. Su contenido medio de cenizas de 72,90 %. El contenido de bitumen oscila entre 17,07 % y 44,52 %, variando su peso volumétrico de 1,63 t/m³ a 1,84 t/m³ (Pérez, 1996).

Tabla III. Composición de la asphaltita purificada (libre de agua y cenizas) de Manuela.

Componente	% en peso
Asfaltenos*	61,74 %
Aceites aromáticos monocíclicos*	3,35 %
Aceites aromáticos bicíclicos*	5,14 %
Aceites aromáticos policíclicos*	6,18 %
Resinas bencénicas*	6,92 %
Resinas alcohol bencénicas*	5,58 %
Carboides, carbenos y otros*	11,09 %
C**	79.60 %
H**	7.60 %
N**	0.64 %
O (como residuo)**	5.19 %

*Composición por fracciones según resultados del Instituto I. M. Gubrin, de Moscú (Cruz, 1994).

**Composición elemental según resultados de laboratorio de Essen, Alemania (Casanovas, 1970).

Para el modelo de depósito estratiforme subhorizontal, dos buenos ejemplos patrones son Peñón y Margas Bituminosas Boca de Jaruco. Peñón es un depósito estratiforme, plegado anticlinalmente, de arenisca carbonatada, de granulometría fina, impregnada en asfalto, con ocasional presencia de calizas organógenas, todas pertenecientes a la Formación Peñón. La parte conocida del depósito tiene 2 100 m de largo por el rumbo (WNW), con un ancho promedio de 580 m, el cual varía entre 220



m y 780 m. Su espesor medio es de 7,23 m, oscilando la profundidad de yacencia de su techo entre 0 m y 72 m. Dentro del cuerpo mineral existe una zona poco consolidada, compuesta por conglomerados y fragmentos de areniscas, con contenidos muy elevados de asfalto (30 % y superiores). El contenido promedio de bitumen (cuatro pozos perforados en 1993 por Castellanos y otros (1994) es de 25,46 %, variando entre 10 y 49 %. Este rango de variación es corroborado por el reportado por Brodermann y otros (1945), quienes realizaron algunas perforaciones en 1943, registrando valores entre 10 y 38 %. Las verdaderas dimensiones de este depósito aun permanecen sin conocer, aunque algunas evidencias sugieren que podría tener entre 3 y 5 km de longitud total por el rumbo.

El depósito Margas Bituminosas Boca de Jaruco fue descubierto accidentalmente entre 1970 y 1980 como resultado de la perforación de los pozos de exploración y producción del yacimiento de petróleo Boca de Jaruco. Se trata de un depósito de grandes dimensiones, el cual ocupa un área conocida aproximada de 7 km². Se encuentra en una secuencia sedimentaria carbonatada que descansa discordantemente sobre el cinturón plegado cubano. Posee una yacencia monoclinal suave, buzando al N con ángulos inferiores a 15°. Las rocas bituminosas, contenedoras de petróleo extrapesado, se ubican entre los 460 y 781 m de profundidad, oscilando su espesor de entre 25 m y 282 m (García y otros, 2007). Estas son de composición carbonatada, incluyendo calizas, margas, biocalcarenitas y cretas. En general, entre ellas predominan las margas, con un 42 %, acompañadas por un 17 % de calcarenitas, un 33.9 % de otras rocas carbonatadas y un 7,1 % de rocas arcillosas. La descripción de su estratigrafía puede ser consultada en Torres y Díaz (2009). Aunque el depósito de rocas bituminosas es estratiforme y yace en forma monoclinal, hay evidencias de que el mismo está afectado por estructuras disyuntivas que complican su estructura. En este sentido, el perfil longitudinal mostrado en la Figura 3 sugiere la existencia de una falla que atraviesa el depósito con rumbo N – S, cruzando entre los pozos BJ – 10 y BJ – 301. Igualmente, el desplazamiento de las capas observado entre los pozos BJ-56 y BJ-192 sugiere la presencia de otra. Estas fallas probablemente son neotectónicas y es posible que tengan relación con la penetración del crudo en las secuencias que constituyen el depósito. En favor de esto también habla la presencia de intercalaciones de asfaltita reportada entre 420 y 540 m de profundidad en el pozo BJ-31. Por último, cabe señalar que está demostrado (García y otros, 2007) el vínculo genético del crudo albergado en estas rocas bituminosas con los petróleos entrampados en todos los horizontes del yacimiento de petróleo Boca de Jaruco, ubicado más abajo y de compleja constitución geológica.

Los depósitos patrones arriba descritos y otros similares presentes en la región estudiada, permiten establecer las diferencias distintivas entre ambos modelos de depósitos bituminosos, sintetizadas en la tabla IV.

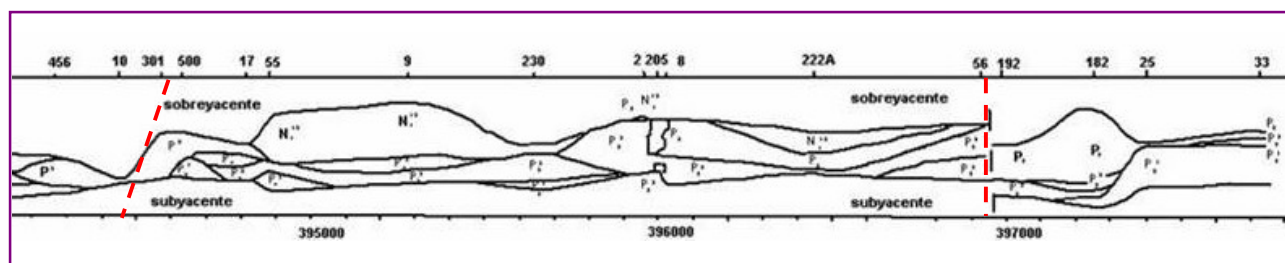


Figura 3. Perfil esquemático longitudinal a escala 1:5000 del depósito Margas bituminosas Boca de Jaruco. Confeccionado por el autor a partir de los datos originales de Domínguez y Leyva (1990) y de Pérez y otros (2005). El mismo muestra la compleja composición litoestratigráfica del horizonte de rocas bituminosas. Se señalan en rojo probables fallas presentes en el depósito.

Tabla IV. Diferencias entre depósitos bituminosos vetiformes y estratiformes



Rasgo	Vetas	Depósitos estratiformes
Litologías hospederas	Sedimentarias, volcánico – sedimentarias, y ofiolíticas fracturadas (gabros, diabasas y serpentinitas)	Rocas sedimentarias
Yacencia	Subvertical discordante	Subhorizontal concordante
Anomalías geofísicas	Alargadas (por el rumbo) y estrechas	Anchas en todas direcciones, con tendencia a reproducir la figura del depósito en el plano horizontal
Aureolas geoquímicas	Alargadas (por el rumbo) y estrechas	Anchas en todas direcciones, con tendencia a reproducir la figura del depósito en el plano horizontal
Estado predominante del bitumen	Sólido	Viscoso
Tamaño del depósito (en t de materia prima)	Inferior a 1 millón de t	Puede superar los 100 - 500 millones de t

La firma geoquímica y geofísica en ambos tipos de depósitos (subverticales y estratiformes) es similar, lo cual se debe a que presentan una zonalidad físico - químico - geológica similar, la cual consta de las siguientes zonas (de afuera hacia adentro del depósito):

- Zona de ambiente reductor. La coloración de las rocas se altera, pasando a ser de un gris plomizo
- Zona de piritización diseminada. Se localiza dentro de la zona de coloración plomiza de las rocas y más adentro. Consiste en el desarrollo de pirita autógena diseminada
- Zona de impregnación bituminosa pobre. Diseminación dispersa de bitumen, de muy baja ley. En un depósito dado, esta zona puede o no aparecer.
- Cuerpos minerales. De asphaltitas o de rocas bituminosas, según el caso.

A lo anterior resulta necesario añadir que con los depósitos bituminosos de uno y otro tipo se asocian zonas de valores geoquímicos incrementados o anómalos de metano (CH_4), Fe, Ni, V, Pb, Zn y Hg en suelo. Así mismo, se ha reportado la presencia de anomalías térmicas (de 1 a 2 $^{\circ}\text{C}$) asociadas con la presencia de asphaltita (Pardo y otros, 1991).

Partiendo de lo arriba expuesto, el conjunto de guías de exploración posibles a utilizar para la prospección de depósitos bituminosos es el siguiente:

- Localización dentro de unidades litoestratigráficas y litológicas favorables (asociación espacial con formaciones productivas y favorables).
- Cercanía a fallas locales y regionales.
- Asociación espacial con mínimos locales de campo magnético total y con valores negativos del mismo (este criterio es más válido para rocas bituminosas).
- Asociación espacial con anomalías de concentración del radioelemento U(Ra).
- Presencia de valores incrementados de susceptibilidad magnética.
- Presencia de valores deprimidos de potencial redox reducido.
- Asociación con anomalías de resistividad aparente.
- Asociación con valores incrementados o anómalos de Fe, Ni, V, Pb, Zn, Hg y CH_4 .



- Asociación con anomalías térmicas.

En cuanto a su génesis, las asphaltitas se forman a consecuencia del avance bajo presión del bitumen a lo largo de sistemas de fracturas tectónicas abiertas o rellenas por arcillas o material más o menos milonitizado (Verbeek y Grout, 1993). Este avance se opera por el mecanismo de fracturación hidráulica, ejerciendo sobre el medio encajante atravesado una acción mecánica similar a la generada por la penetración de diques intrusivos ígneos. Este proceso tiene lugar al ocurrir la ruptura tectónica de reservorios de hidrocarburos y de capas sello que los sobreyacen.

El origen de la gran mayoría de los depósitos de rocas bituminosas conocidos en el mundo se relaciona con los procesos geológicos que experimentan los depósitos de petróleo convencional una vez que se han formado. Entre esos procesos, los más importantes son los siguientes (Khalimov y otros, 1990):

- Levantamiento sostenido de territorios con reservorios de petróleo y entrada de los mismos dentro de la zona hipergénica (o paleohipergénica).
- Infiltración de agua meteórica, rica en oxígeno disuelto, lo cual da lugar al proceso de lavado y descomposición de los hidrocarburos más ligeros, frecuentemente con la activa participación de microorganismos.
- Rupturas tectónicas extensivas, diapirismo salino, volcanismo de lodo y formación de otras vías que favorecen la migración vertical del crudo
- Incremento del metamorfismo (degradación térmica y química) del petróleo.

Para la evaluación del potencial mineral, tanto de asphaltitas como de rocas bituminosas, se utilizaron las primeras 4 guías de exploración expuestas, por ser las únicas cartografiadas a partir de los materiales y datos disponibles. Las evidencias geoquímicas, que podrían haber contribuido a la mejoría de los resultados de la evaluación de potencial, particularmente para los depósitos de rocas bituminosas, no pudieron ser empleadas por no existir en el territorio estudiado levantamientos geoquímicos regionales que aportasen los datos necesarios.

En el caso particular de la información térmica, de modo experimental, se procesaron las cinco bandas térmicas infrarrojas de una imagen cósmica ASTER que abarca la mayor parte de la provincia Mayabeque, incluyendo todo el sector Jaruco - Santa Cruz del Norte y el 80 % del sector Corral Nuevo. Como resultado del trabajo realizado, se pudo establecer, por un lado, la alta sensibilidad de las imágenes de emisividad y temperatura a los rasgos geomorfológicos e hidrológicos del terreno, así como a la influencia antropogénica sobre el mismo. Por el otro, permitió establecer que ambos productos resultantes del procesamiento de las bandas infrarrojas térmicas pueden utilizarse como evidencias, de importancia subordinada, en la evaluación del potencial de recursos bituminosos, tanto para asphaltitas como para rocas bituminosas, siendo en el segundo caso donde ambos parecen ser más efectivos.

Estratigrafía y mineralización bituminosa

En el territorio comprendido por las provincias Artemisa, La Habana, Mayabeque y Matanzas, las unidades eocénicas contienen el 76,00 % de las ocurrencias de asphaltitas reportadas en todo el territorio de la región, incluida la totalidad de los prospectos conocidos. El resto se localiza en secuencias sedimentarias y volcánico - sedimentarias del Cretácico Superior y en litologías ofiolíticas. Todo esto sugiere que la formación de la mayoría de las asphaltitas presentes en el territorio estudiado transcurrió entre el Eoceno y el Plioceno.



En el caso de las rocas bituminosas, se observa una distribución más equilibrada entre las unidades paleogénicas y cretácicas. Así, las primeras contabilizan el 42,85 % de los depósitos conocidos, localizándose el resto en rocas cuya edad va desde el Jurásico Superior Oxfordiano hasta el límite K – T. No obstante lo anterior, considerando que la formación de estos depósitos suele relacionarse generalmente con los procesos de levantamiento y erosión del terreno, así como con los de degradación química y biológica de las acumulaciones de hidrocarburos, se estima que ellos se formaron, en lo fundamental, en el período Eoceno – Cuaternario.

Por último, para las manifestaciones superficiales y someras de petróleo extrapesado y asfalto, el 38,89 % de las ocurrencias se presentan en unidades de edad cretácica, incluido el límite K – T. El 30,58 % se asocia con ultrabasitas serpentinizadas y fracturadas, asociándose el 22,22 % restante con unidades litoestratigráficas del Paleoceno y Eoceno. Esta distribución muestra un mayor grado de relación de estos bitúmenes con el Cretácico, edad de formación de una parte significativa del petróleo cubano conocido hasta hoy.

Comportamiento de la mineralización bituminosa

Un examen global de toda la región objeto de estudio, muestra que, en dirección W a E, las asphaltitas van cediendo progresivamente el papel protagónico desempeñado en la provincia Artemisa, a las rocas bituminosas, ampliamente predominantes en la provincia de Matanzas. A su vez, dentro de las asphaltitas, el tipo grahamita es progresivamente desplazado por el tipo glance pitch, como parte de una tendencia general al incremento de la calidad de la materia prima en los depósitos vetiformes de W a E. Así, la grahamita masiva de los sectores Banes y Bejucal, situados más al E, tiende a tener contenidos de ceniza más bajos que la de Mariel.

La causa geológica de este comportamiento de las asphaltitas radica en las características físico – mecánicas y petrográfico – mineralógicas de las rocas hospederas de la mineralización. Menos arcilla y mejores propiedades físico – mecánicas determinan una menor mezcla de material mineral inorgánico con la asphaltita y, en consecuencia, un contenido de ceniza más bajo en la misma. Por otro lado, el creciente protagonismo de las rocas bituminosas, a medida que se avanza hacia el E, se debe a la mejoría de las propiedades colectoras de las secuencias sedimentarias hospederas. Esto da lugar a que las mismas exhiban un mejor comportamiento como reservorio de hidrocarburos y resulten, en consecuencia, más favorables para la formación de depósitos bituminosos estratiformes, particularmente allí donde la porosidad de las rocas es mejorada por la fracturación tectónica. Se aclara que, para las rocas bituminosas, este cuadro puede estar determinado por el muy limitado nivel de conocimiento existente sobre esta materia prima en la parte occidental de la región estudiada.

Geofísica y depósitos de bitúmenes

Viendo en conjunto los resultados de todos los sectores, se tiene que el criterio magnético, aplicado de modo general, es un débil indicador de la favorabilidad de un área dada para bitúmenes, pues solo el 51,82 % de las ocurrencias presentes de los cuatro sectores de interés con cobertura aeromagnética se asocian con valores inferiores a -20 nT. Ello obedece al hecho de que el rango de favorabilidad, en el caso de los depósitos vetiformes, se amplía al incluir, además de rocas sedimentarias, las volcánogeno - sedimentarias y ofiolíticas. Esto permite afirmar que en el caso de las asphaltitas, el criterio magnético, como evidencia de mineralización bituminosa, es débil.

En cambio, si se consideran solo las ocurrencias conocidas de rocas bituminosas estratiformes en todos los sectores con cobertura aerogeofísica, se tiene que el 92,59 % de ellas se asocian a valores de -20 nT e inferiores. Ello indica que para este tipo de mineralización bituminosa el criterio magnético



es sólido, lo cual se debe, en primer término, al hecho de que solo las rocas sedimentarias, por lo general muy poco magnéticas, son favorables para el mencionado tipo de mineralización.

En el caso de la espectrometría gamma aérea, el 71,43 % de las ocurrencias de bitúmenes de todos los tipos presente en los tres sectores de trabajo con cobertura de espectrometría gamma aérea se asocia espacialmente a valores de concentración de U(Ra) superiores a 1 ppm. En el caso específico de las rocas bituminosas, este porcentaje se eleva al 76 %. Finalmente, si se le añaden a estas ocurrencias las de asfalto y petróleo extrapesado localizadas en rocas sedimentarias, se obtiene un 83,33 %. De lo anterior se deduce que el criterio general de favorabilidad para bitúmenes adoptado en relación con la concentración del radioelemento U(Ra) puede considerarse válido, siendo más seguro en el caso de las rocas bituminosas. No obstante, a la hora de interpretar los resultados de la espectrometría gamma, es necesario tener siempre presente otras fuentes de anomalías, como la presencia de rocas fosfatizadas y la contaminación humana del medio natural dada por el uso en la agricultura de fertilizantes fosfatados.

Verificación de los resultados mediante trabajos de campo

Con el fin de obtener una evidencia externa e independiente de la calidad de la evaluación de potencial, fueron realizados trabajos geofísico - geoquímicos en el área perspectiva No 4 del sector Jaruco - Santa Cruz del Norte. Estos consistieron en la ejecución, en 4 perfiles, de mediciones de susceptibilidad magnética, espectrometría gamma, potencial redox y toma de muestras geoquímicas de suelo para determinación del contenido de Fe, Ni, V, Pb y Zn (indicadores geoquímicos de presencia de bitumen).

Los segmentos de perfiles que resultaron negativos, de acuerdo con la interpretación de los resultados obtenidos, se corresponden con valores de potencialidad iguales o inferiores a 0,50 y los positivos con valores de potencialidad superiores a 0,50. Partiendo de esto y del hecho de que los recursos especulativos fueron delimitados contorneando, en sentido general, las áreas con valores de potencialidad iguales o superiores a 0,53 (en una escala de favorabilidad de 0 a 1), los resultados derivados de los trabajos de campo llevados a cabo aportan un argumento independiente, aunque indirecto, a favor de la validez de los criterios empleados en la delimitación de los recursos no identificados de rocas bituminosas de las áreas perspectivas del sector.

Adicionalmente, durante estos trabajos fue localizado un afloramiento de petróleo extrapesado no conocido anteriormente, ubicado dentro de la zona de alto potencial, el cual si constituye un índice directo de la presencia de la materia prima. Por otra parte, en las áreas perspectivas 6 y 7 del sector Martí, es posible comparar el mapa de potencial para rocas bituminosas obtenido con los resultados de la campaña de perforación realizada en 1968 por la Empresa Consolidada de la Minería (Orta y otros, 1989). Esta comparación muestra que, de los 72 pozos, perforados a profundidades entre 20 m y 80 m, 66 se hallan en zonas con valores de potencialidad superiores a 0,58. De este último total, el 93,9% de los pozos fueron positivos (interceptaron rocas bituminosas). Todos estos elementos de juicio sugieren que la distribución espacial del grado de favorabilidad presentado por los mapas de potencial para rocas bituminosas refleja de modo adecuado, para la escala 1:100 000) y grado de detalle del estudio realizado, la realidad observada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La dirección tectónica principal controladora de las asphaltitas y rocas bituminosas en la provincia Artemisa es la ENE. En las provincias de Mayabeque y Matanzas, esta dirección es la ESE a SE. En el caso de las rocas bituminosas, ellas son controladas además por una dirección tectónica secundaria transversal, cuyo rumbo varía de N-S a ENE.



Las principales litologías portadoras de mineralización bituminosa son distintas variedades de areniscas, limolitas y calizas. En el caso de las asphaltitas, la unidad litoestratigráfica más importante, en la región estudiada, es la Formación Capdevila, mientras que para las rocas bituminosas, lo son el Grupo Universidad y las formaciones Peñón, Veloz, Polier, Peñalver y Santa Teresa

La comparación de los resultados obtenidos mediante el procesamiento e interpretación de las imágenes de temperatura y emisividad con los derivados de la evaluación del potencial para asphaltitas y rocas bituminosas, validan su utilización en trabajos futuros como guías de exploración para ambas materias primas, si bien ellas solo aportan una evidencia subordinada para la identificación de áreas con depósitos de recursos bituminosos.

Se demostró la eficiencia de los criterios geofísicos de favorabilidad utilizados en la evaluación de potencial, más sólidos en el caso de las rocas bituminosas, al establecerse que el 92.59 % de las ocurrencias de rocas bituminosas se asocian a valores de campo magnético total reducido al polo inferiores a -20 nT y que el 83,33 % de estas ocurrencias y las de asfalto y petróleo extrapesado posiblemente relacionadas con este tipo de materia prima, se asocian a valores de concentración del radioelemento U(Ra) mayores de 1 ppm.

Del potencial de recursos no identificados estimado de asphaltita, el 98 % se localiza en la provincia Artemisa y el 55 % en el sector Mariel - Cayajabos. En consecuencia, se considera posible una ampliación sustancial la actual base de recursos identificados conocida, concentrada casi toda en el mencionado sector. En el caso de las rocas bituminosas, el 87,2 % del potencial de recursos no identificados estimado se localiza en los sectores Jaruco - Santa Cruz del Norte (49,9 %) y Martí (37,3 %). Este potencial representa para el país una posible oportunidad en materia energética, digna de ser verificada.

Se recomienda aplicar esta experiencia en la evaluación del potencial de recursos bituminosos de otras regiones del país

BIBLIOGRAFÍA

- Bonham-Carter, G. F., 1994. Geographic information systems for Geoscientists, modelling with GIS, Computer methods in the Geosciences, Volume 13: Elsevier Science Ltd., 398 p
- Brodermann, J., A Andréu y F. Villoch, 1945. Yacimientos asphaltíferos de Cuba. La Habana: Compañía Editora de Libros y Folletos. 191 p
- Casanovas, E., S. Hrushkovich, A. Pavlov, L. Balaguer, 1970. Informe final sobre la exploración de asphaltita en la región Mariel, barrio San Juan Bautista, Cayajabos. Inédito. ONRM, La Habana.
- Casanovas, E., 1970. Informe Final y Cálculo de Reservas de la Mina Manuela. INV. ONRM: Inédito. ONRM, La Habana.
- Castellanos, A., T. Torres, R. Rodríguez, 1994. Exploración Orientativa rocas asfáltica Peñón y evaluación sectores Santa Gertrudis y el Río La Palma. Inédito. ONRM, La Habana.
- Cruz, F. J., J. L. Torres, 1994. Informe del Trabajo Temático Productivo Asphaltitas Habana. Inédito. ONRM, La Habana.
- Cruz, V. F., 1994. Informe de la Tarea Proyecto Para el aseguramiento de las reservas industriales en el yacimiento de asphaltita Manuela. Inédito. ONRM, La Habana.
- Cruz, V. F., R. Rodríguez, R. Barea, A. R. Miranda, O. Pérez, 1994. Exploración Orientativa de las vetas de asphaltita zona San Juan Bautista. Mariel. Inédito. ONRM, La Habana.
- Domínguez A., E. Leyva, 1990. Estrategias de exploración y posterior explotación de las margas bituminosas del neoaútóctono. Inédito. CEINPET, La Habana
- García, R., J. L. Torres, A. F. Díaz, M. Ordóñez, J. Rodríguez, L. Pérez, 2007. Informe Etapa 1.3: Evaluación y Caracterización de las Margas Bituminosas para la Aplicación de Procesos de Recobro (Térmicos u otros). Inédito, CEINPET, La Habana.



- Khalimov, E. M., I. M. Klimushin, L. L. Ferdman, I. S. Goldberg, 1990. Geological problems of natural bitumen. AOSTRA USSR exchange tour report. J. R. Yurko y V. M. Reitman eds. Fort McMurray, Alberta, Canada: 208 - 221
- Linares, E., D. E. García, O. Delgado, J. G. López, V. Strazhevich, 2011. Yacimientos y manifestaciones de hidrocarburos de la República de Cuba. La Habana: CEINPET Y CNDIG, 400p. ISBN 978 -9598 – 7117 – 33 – 9.
- Meyer, R. F., W. Dc Witt Jr., 1990. Definition and World Resources of Natural Bitumens. U. S. Geological Survey Bulletin 1944.
- Pardo, M., I. Moya, M. Gómez, T. Torres, A. Domínguez, F. Pérez, 1991. Trabajos metodológicos experimentales geólogos - geofísicos sobre vetas asfálticas en la región Mariel, zona "Rodas- Arrempuja". Inédito. ONRM, La Habana.
- Pérez L. M., J. Fernández, J. Hernández, A. H. Dominguez, 2005. Bioestratigrafía de los sedimentos terciarios bituminosos en el área Boca de Jaruco. Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. Memorias Trabajos y Resúmenes. Centro Nacional de Información Geológica. La Habana. ISBN 959-7117-03-7.
- Pérez, R. B., 1996. Informe de Exploración Orientativa de las vetas de Asfaltitas Luís, Arrempuja, Cañas Bravas, Juan Antonio y Rhodas, en la zona San Ramón, Mariel. La Habana. Inédito. ONRM, La Habana.
- Torres, J. L., A. F. Díaz, 2009. Geología de los depósitos de rocas bituminosas de La Habana. Tercera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra GEOCIENCIAS 2009. Memorias. La Habana: Centro nacional de Información Geológica. ISBN 978-959-7117-19-3.
- Verbeek, E. R. and Grout, M.A., 1993, Geometry and structural evolution of gilsonite dikes in the eastern Uinta Basin, Utah: US. Geological Survey Bulletin 1787- HH, 42 pp.