

## Composición de las facies radioláricas cenozoicas y sedimentogénesis del sello regional en la Franja Norte Petrolera Cubana

Carlos Morales Echevarría<sup>1</sup> y Osmany Pérez-Machado Milán<sup>2†</sup>

<sup>1</sup> Licenciado en Geología. Doctor en Ciencias Técnicas. JSC ZARUBEZHNEFT. Avenida 3ra, e/78 y 80. Edificio Habana, Piso #5, Oficina 506, Centro de Negocios Miramar. Playa. C.P.11300. La Habana, Cuba. ORCID ID 0000-0001-8754-6134. Correo electrónico.: cmorales@nestro.ru

<sup>1</sup> Ingeniero Geólogo. Máster en Geología Petrolera. Investigador Agregado. Centro de Investigación del Petróleo, Cuba, CP 10200. ORCID ID 000-0003-2326-5469. Correo E.: milan@ceinpet.cupet.cu

### RESUMEN

La Formación Vega Alta, constituye el sello regional en la Franja Norte Petrolera Cubana (FNPC). Estudios anteriores definen en esta formación dos paquetes de sedimentos, uno de naturaleza carbonatada silíceo arcillosa, constituido por intercalaciones flyschoides de limolitas, lutitas, cretas y pedernales; dispuestos en la base, próximo a los reservorios, y el segundo de naturaleza olistostrómica en la parte superior de la unidad. Estos sedimentos presentan numerosos cambios faciales tanto laterales como longitudinales, reflejo de las condiciones de sedimentación. Desde el punto de vista litológico se reporta creta y pedernal radiolárico, los cuales constituyen un marcador regional. El conocimiento de los procesos sedimentarios que caracterizan la deposición de esta facies, es de gran importancia para comprender sus variaciones faciales, aspecto que dificulta las correlaciones, en especial cuando se trata de pozos exploratorios horizontales y desviados, lo que constituye el problema principal de esta investigación. Lograr la caracterización y presentar algunas consideraciones sobre los procesos sedimentológicos que tienen lugar en la deposición de estas facies, constituye el objetivo del trabajo; su cumplimiento se logra

a través de la aplicación de un conjunto de métodos que integran el análisis litológico facial de las facies radioláricas, en conjunto con el estudio bioestratigráfico. Se aplica la microscopía electrónica y la difracción de rayos X, lo que permite implementar un estudio integral de esta unidad sedimentaria. Se utilizan datos litológicos y bioestratigráficos de pozos exploratorios perforados en la FNPC. Se obtiene una caracterización integral de esta facies, infiriéndose sus condiciones de sedimentación, logrando correlacionarla a todo lo largo de la FNPC.

**Palabras clave:** Facies, carbonatos, silicitas, radiolarios, radiolaritas, correlación.

### ABSTRACT

Vega Alta Formation represents the regional seal within the Cuban Northern Oil Belt. Previous studies defined two different sediment packages in this formation: one of clayey siliceous carbonate nature, located at the base and near the reservoir units, which consists of interbedded flyschoid siltstones, shales, chalks and cherts; and the second of olistostrome nature at the upper section of the unit. It has been noti-

ced that these sediments possess numerous facies changes both lateral and longitudinal, as reflection of the sedimentation conditions. Chalks and radiolaric cherts have been reported in these deposits, which are considered to be a regional marker. The understanding of the facies depositional processes and their lithological composition are important elements to figure out the facies changes, aspect that makes the correlation among wells difficult, especially when dealing with deviated and horizontal exploratory wells, which is the main problem of this research. Achieving the characterization and presenting some considerations about the sedimentological processes that take place in the deposition of these facies, constitute the objectives of this work. To achieve this objective a set of methods were applied to integrate the facial lithologist analysis of the radiolaric facies, and the biostratigraphic study. Electron microscopy and X-ray diffraction are applied, which helped to implement an integral study of the sedimentary unit. Lithological and biostratigraphic data from exploratory wells drilled in the FNPC are used. An integral characterization of this facies was achieved, inferring its sedimentation conditions, managing to correlate it throughout the FNPC.

**Key words:** Facies, carbonates, silicites, radiolarians, radiolarites, correlation.

## RESUMO

A Formação Vega Alta, constitui o selo regional do Cinturão Petrolífero do Norte de Cuba (FNPC). Estudos anteriores definem dois pacotes de sedimentos nesta formação, um de natureza argilosa siliciosa carbonatada, constituído por intercalações flyschoid de siltitos, xisto, giz e sílex; dispostos na base, próximo aos reservatórios, e o segundo de natureza olistostômica no topo da unidade. Esses sedimentos apresentam inúmeras alterações faciais laterais e longitudinais, reflexo das condições de sedimentação. São relatados giz e sílex litologicamente radioláricos, que constituem um marcador regional. O conhecimento dos processos sedimentares que caracterizam a deposição desta fácies é de grande importância para a com-

preensão de suas variações faciais, aspecto que dificulta as correlações, principalmente quando se trata de poços exploratórios horizontais e desviados, o que constitui o principal problema do presente estudo. . pesquisa. Alcançar a caracterização e apresentar algumas considerações sobre os processos sedimentológicos que ocorrem na deposição dessas fácies constitui o objetivo deste trabalho; O cumprimento do mesmo é conseguido através da aplicação de um conjunto de métodos que integram a análise litológica facial da fácies radiolárica, juntamente com o estudo bioestratigráfico. São aplicadas microscopia eletrônica e difração de raios X, o que permite realizar um estudo abrangente desta unidade sedimentar. São utilizados dados litológicos e bioestratigráficos de poços exploratórios perfurados no FNPC. Obtém-se uma caracterização integral desta fácies, inferindo as suas condições de sedimentação, conseguindo correlacioná-la ao longo do FNPC.

**Palavras chave:** Fácies, carbonatos, silicitas, radioláricos, radiolaritos, correlação.

## INTRODUCCIÓN

La Formación Vega Alta, se manifiesta en la FNPC como el sello regional de los reservorios. Ha sido objeto de numerosos estudios e investigaciones durante los últimos cinco años, definiéndose en la formación dos paquetes fundamentales, uno de naturaleza carbonatada silíceo arcillosa y otro de carácter olistostromico. Por lo general, la base de la formación, sector más próximo a los reservorios, presenta mayor concentración de rocas arcillosas, intercaladas por silicitas y rocas carbonatadas. Dada la posición y características mineralógicas de estas rocas se consideran parte de la unidad litológica sellante de la formación (Morales y otros 2013).

Durante perforaciones realizadas a través de estas rocas, se han reportado manifestaciones de gas, por lo cual pudiera pensarse en acumulaciones importantes de hidrocarburos no convencionales en estos depósitos. Es frecuente observar entre esas intercalaciones facies radioláricas caracterizadas por cretas radioláricas

intercaladas entre radiolaritas, silicitas, arcillas y limolitas, las cuales, por reportarse en la mayoría de los pozos en la base de la formación, se consideran un marcador regional.

Los sedimentos a estudiar constituyen sedimentos sinorogénicos, acumulados por la acción de pulsos tectónicos y compresión. La sedimentación gravitacional ocurre a grandes profundidades, donde el espesor de los sedimentos puede alcanzar varios cientos de metros y presentar deformaciones intensas e intercaladas con escamas arrancadas del substrato. Se considera que la clave de la relación entre la procedencia y la cuenca, está gobernada por la tectónica, la cual controla la distribución de los diferentes tipos de sedimentos clásticos. El aporte a partir de zonas orogénicas está caracterizado por detritus que se acumulan en depresiones de cuencas de antepaís con una rápida subsidencia. Este detritus proviene de rocas sedimentarias y metasedimentarias levantadas, plegadas y falladas y están caracterizados por un melange de rocas de la corteza oceánica y lodos pelágicos. Hacia estas depresiones llegan corrientes turbidíticas cargadas de sedimentos de naturaleza clástica, la cuenca de antepaís recibe detritus reciclados a partir del cinturón deformado. Los fragmentos suelen ser en su mayoría de granos de carbonatos y pedernal, en otros casos específicos se reportan granos de feldespatos potásicos (Arche, 1992).

El origen sinorogénico de estas rocas propicia la heterogeneidad y los cambios faciales, lo que dificulta en gran medida, la correlación de estas facies y los trabajos de exploración. La caracterización litológica y bioestratigráfica de esta facies radiolárica, permitirá definirla mejor, tanto desde el punto de vista litológico como genético, así como definir mejor su importancia como rocas sellos dentro de esta unidad, lo que contribuirá a un mejor entendimiento de las condiciones de su sedimentación y facilitará orientar mejor los trabajos exploratorios durante la perforación de pozos.

El término de facies fue utilizado por primera vez a principios del siglo XIX (Gressly, 1838). Fue definido en el sentido del conjunto de características lito-

lógicas y faunísticas de una unidad estratigráfica que permite distinguirla de las adyacentes. En el año 1970, Selley, definió una facies sedimentaria, como un conjunto de rocas sedimentarias que se distinguen de otras por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles asociados (Arche, 1992).

La realización del análisis litólogo facial acompañado de la investigación bioestratigráfica en conjunto con la aplicación de la difracción de rayos X (DRX) y la microscopía electrónica de barrido con microanalizador de rayos X (SEM), permitirá obtener la caracterización litólogo-petrográfica de esta facies y presentar criterios sobre las condiciones de su sedimentación, objetivos principales de esta investigación.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la aplicación del estudio litólogo-estratigráfico, se consultaron informes anteriores de trabajos de campo y se realizaron nuevas campañas de campo para reconocer y muestrear las rocas en superficie. Además, se estudiaron informes de pozos en los cuales se revisaron, en lo fundamental, el dato litológico. Otra base de datos de gran importancia, son las secciones delgadas de núcleos, pertenecientes a la colección del Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET). La colección tiene la ventaja de ofrecer una información segura y de alta calidad. También el uso de las muestras de canal de pozos constituye una fuente de información importante sobre todo en áreas donde no se cuenta con núcleos y registros geofísicos.

El presente análisis litológico es un estudio a realizar por áreas. Las áreas seleccionadas la integran los yacimientos: Guanabo, Vía Blanca, Boca de Jaruco, Jibacoa, Yumurí, Puerto Escondido, Seboruco y Varadero.

Entre los conceptos importantes utilizados en el estudio litólogo-facial, están el de facies, litofacies y microfacies. En esta investigación se partió del concepto operacional de facies (Krumbein y Sloss, 1963), donde se definen tipos de facies, que podrían ser llamadas facies descriptivas convencionales o facies descriptivas cuantificadas. Para estos autores, las facies

son variaciones laterales en ciertos aspectos, de una unidad estratigráfica, casi siempre estudiadas de modo cuantitativo y pueden referirse a aspectos litológicos o biológicos (Reguant, 1971). La elección de los aspectos o caracteres, está en función del problema del análisis planteado. En esta investigación se optó por utilizar este concepto de facies al tener en cuenta que el estudio abarcó tanto aspectos litológicos como biológicos, por lo que se propuso mantener el término de microfacies para las descripciones en escala microscópica. La valoración y caracterización de la facies radiolaria, se realizó sobre la base del tetraedro fundamental para la clasificación de las rocas sedimentarias (Segura, 1963). El gráfico ternario presenta en uno de sus vértices el carbonato, en el resto de los vértices se colocan las arcillas y el pedernal. Si se tiene en cuenta que estas manifiestan un contenido de carbonatos mayor al 30 % (Arche, 1992), se toma este parámetro de referencia para definir las (Figura 1).

En el estudio litólogo-facial, las radiolaritas se evidenciaron intercaladas entre las facies radioláricas; no se pudieron ver como un aspecto litológico independiente. Se añaden datos de los análisis de la difracción de rayos X (DRX) y de la microscopía elec-

trónica de barrido con microanalizador de rayos X (SEM), para completar de forma integral esta investigación. El objetivo de la difracción de rayos X, es indicar la estructura tridimensional de cada sustancia química cristalina, o en su ausencia, el conjunto de distancias interplanares e intensidades. Cada sustancia cristalina posee un ordenamiento tridimensional de sus especies atómicas propio de ellas. Al someterse una muestra cristalina a una radiación X monocromática, a partir de un determinado ángulo de incidencia entre la radiación y la muestra, se obtiene un conjunto de efectos de difracción propios de cada especie según la estructura cristalina. Este conjunto de reflexiones propicia la caracterización por comparación con lo que se ha reportado en la literatura para determinar el compuesto químico bajo estudio (Morales, 2008).

Para la Difracción de rayos X (DRX), las muestras seleccionadas fueron trituradas para alcanzar la granulometría que exige el ensayo. La realización de los difractogramas fue por el método de polvo y se registraron en un equipo Philips PW 1710 con las siguientes características:

Goniómetro	<b>Vertical</b>
Sistema de focalización	<b>Bragg-Bretano</b>

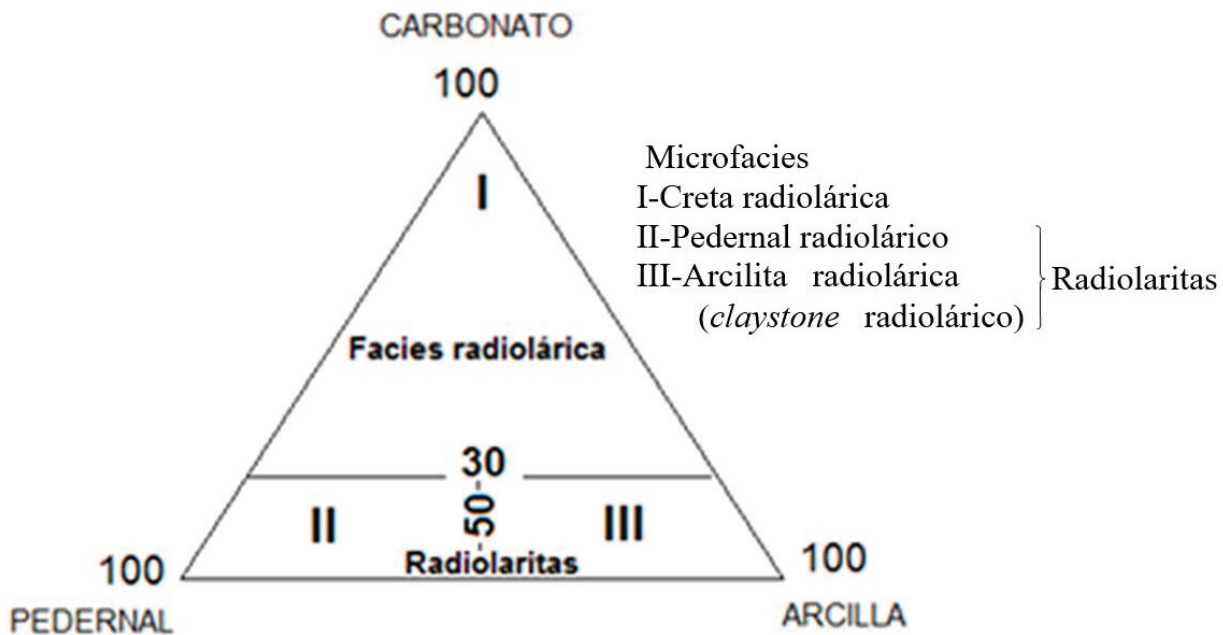


Figura 1. Clasificación de la facies radiolaria, modificado por el autor a partir de Segura (1973).

Radiación K $\alpha$	<b>Fe</b>
Filtro	<b>Mn</b>
Diferencia de potencial aplicado	<b>30 KV</b>
Corriente anódica	<b>20 mA</b>
La calibración del equipo se verifica con patrón externo	<b>Silicio</b>
Registro angular	<b>6-80° (20)</b>

Todos los difractogramas se registraron según variante de medición punto a punto (programa 13), paso angular de 0.05° y tiempo de medición en cada posición de 3 segundos. Los resultados numéricos de intensidades relativas y ángulos de difracción se convirtieron en difractogramas continuos con el empleo del programa Origin 7.0. Las distancias interplanares se determinaron con el programa Ttod para PC. El análisis cualitativo de fases se realizó con la utilización de la Base de Datos PCODFWIN; versión 1.30 JCPD-SICDD/ 2002, compatible con Windows 98 para Office 2000.

En la microscopía electrónica se utilizó el equipo: TESCAN. Vega 51305 B. El microscopio integra un sistema de microanálisis por espectroscopía de dispersión de energía de rayos X, EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), modelo Inca 350, con un detector de silicio para elementos ligeros y resolución de 138eV de la Oxford Instruments. Para la realización de la microscopía electrónica de barrido las muestras se recubrieron con oro, las imágenes observadas se obtuvieron mediante el empleo de detectores de electrones secundarios y electrones retrodispersos. En los espectros obtenidos en el eje de las Y se reportaron los porcentajes de las sustancias elementales presentes en las muestras y en el eje de las X los valores correspondientes a la dispersión de la energía perteneciente a la espectrometría de rayos X (Morales, 2012).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización litológico-petrográfica

Desde el punto de vista litológico, la microfacies fundamental es la creta radiolárica, en ocasiones con componente arenoso. Además de la creta radiolárica, están

presentes el pedernal radiolárico y la arcillita radiolárica. Estos litotipos son denominados como radiolaritas cretosas o radiolaritas (**Figura 2**). Las radiolaritas cretosas de forma general son friables, de colores gris claro a gris verdoso, a veces presentaron color pardo de varios tonos, debido a la elevada impregnación de petróleo; la fina pseudoestratificación (juntas de disolución) es un elemento distintivo. En sección delgada se caracterizó por la presencia de abundante fauna fósil: foraminíferos planctónicos, radiolarios y abundante nannoplancton (cocolitos), el pedernal arcilloso radiolárico, en ocasiones algo carbonatado y fracturado y rocas silíceo arcillosas radioláricas. De forma general en gran parte de los pozos perforados en la FNPC, se reporta esta facies. En pozos de Canasí, Puerto Escondido y Jibacoa, se observan cretas arcillosas con abundantes radiolarios intercaladas entre pedernales radioláricos arcillosos y de forma subordinada, material arenoso siliciclástico de cuarzo, serpentinita y plagioclasas.

En el área de Seboruco en la base de la Formación Vega Alta, se observa creta radiolárica arcillosa de color verde claro a pardo claro, se intercala pedernal radiolárico arcilloso, porosidad móldica vacía o rellena por petróleo. El pozo Varadero 709, en los 2110 m, reporta creta radiolárica arcillosa de color blanco-gris, claro a pardo claro (por impregnación), masiva, firme a poco friable, con visibles radiolarios recristalizados a calcedonia, se observa en sección delgada escasos cocolitos y nannoconus al parecer redepositados; la impregnación es uniforme y en manchas.

Desde el punto de vista petrolero, las cretas constituyen importantes reservorios, pero también pueden actuar como capas impermeables de rocas que entrapen yacimientos si se encuentran enterradas a profundidades mayores de 2000 m, dada su baja permeabilidad y la plasticidad que éstas alcanzan a grandes profundidades.

### Consideraciones sedimentológicas

Las cuencas cenozoicas en Cuba evolucionaron de modo similar a las del Cretácico Superior Campaniano-



Maastrichtiano, o sea, el mecanismo de aporte y deposición estuvo dado por el levantamiento y la subsidencia implantados por la actividad tectónica.

La sedimentación de la Formación Vega Alta, tuvo lugar en una cuenca profundizada, con probabilidad por el acercamiento desde el sur de nuevos cabalgamientos (ofiolitas fuera de secuencia), que por su gran peso provocó el hundimiento significativo de las porciones de la cuenca hacia el norte, donde se depositaron secuencias de aguas más profundas determinadas, en primer lugar, por la acumulación de espesores pequeños de arcillas las cuales llegaban a la cuenca provenientes de la destrucción de las rocas del margen continental, el arco volcánico cretácico y la corteza oceánica.

Dentro de estas secuencias de aguas profundas se depositan las facies radioláricas. Estas rocas constituyen en la FNPC un marcador regional próximo a los reservorios, conocidas como radiolaritas cretáceas por tener más del 50 % de radiolarios. Estas se observan también en el pozo Yamagua IX perforado por REPSOL-YPF y se reportan en numerosos yacimientos: Habana del Este, Guanabo, Vía Blanca, Jibacoa, Canasí Yumurí y Varadero.

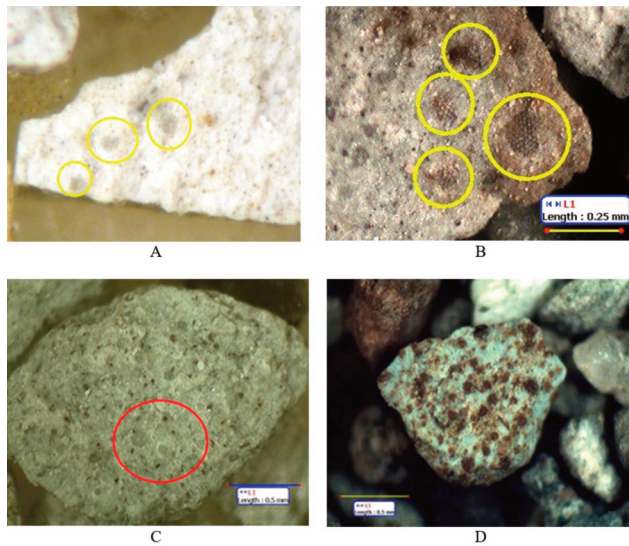
De modo conceptual, las facies radioláricas manifiestan un contenido de carbonatos mayor al 30 %. Se caracterizan por cretas, calizas o arcillas silíceas rojas y verdes con gran abundancia de radiolarios, los cuales pueden estar calcitizados. A nivel mundial se conocen en diferentes edades, y especial desarrollo tienen la de los Alpes, Cárpatos, Apeninos, Béticas, etc. (Arche, 1992). El alto contenido de carbonatos y la presencia de foraminíferos planctónicos poco resistentes a los procesos de disolución que ocurren a grandes profundidades, indica que la deposición de esta facies debió realizarse en condiciones de escasa velocidad de sedimentación, sin aportes terrígenos por encima del nivel de compensación de los carbonatos (C.C.D, carbonate compensation depth) entre 1000 y 2000 m o por lo menos, por encima de la lisoclina, en condiciones de relativo reposo tectónico en la cuenca (Arche, 1992).

La influencia de las condiciones climáticas

favoreció el desarrollo de los procesos erosivos durante la formación de estos sedimentos. Hacia la parte final del Paleoceno, ocurrió un ascenso marcado de la temperatura global, que parece estar reflejado en la base de los depósitos turbidíticos típicos del Eoceno inferior a medio temprano. Este intervalo refleja la ocurrencia de intensas lluvias de carácter regional y global, como respuesta climática planetaria hacia el equilibrio ambiental coherente, ante el clima cálido y el alto contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico, impuesto en la primera mitad del Paleógeno. La violenta meteorización de los silicatos se extendió a amplias áreas de la región, compuestas por las vulcanitas cretácicas y paleogénicas en formación. Ello propició la erosión de gigantescos volúmenes de sedimentos siliciclásticos que fueron transportados y depositados por flujos turbulentos en las cuencas marinas circundantes a las tierras emergidas (Rojas y Denis, 2013).

El origen de la sílice en solución debe atribuirse a la meteorización de los minerales silicatados (plagioclasas, feldspatos). Estas rocas en los procesos de meteorización se alteran a minerales arcillosos, los cuales a través de procesos de neomorfismo se transforman en sílice. Las altas concentraciones de sílice presentes en la cuenca cenozoica, propicia el desarrollo de los radiolarios los cuales se manifiestan como organismos oportunistas.

Los estudios realizados en pozos de la FNPC, observaron intercalaciones entre las facies radioláricas, de pedernales radioláricos y arcillitas radioláricas, las cuales constituyen radiolaritas (**Figura 2, A, B y C**). De forma conceptual, las radiolaritas se caracterizan por presentar un contenido de carbonatos por debajo del 30 %. Desde el punto de vista genético se forman sobre corteza oceánica, aunque después de numerosas discusiones establecidas en cuanto a la profundidad de deposición de las radiolaritas, algunas pueden ser parte de redepósitos de materiales transportados por corrientes de turbidez (y otras corrientes marinas) hasta surcos profundos procedentes de relieves adyacentes menos profundos. La presencia de turbiditas indican condiciones paleogeográficas, tectónicas y deposicionales de secuencias sedimentarias antigua,

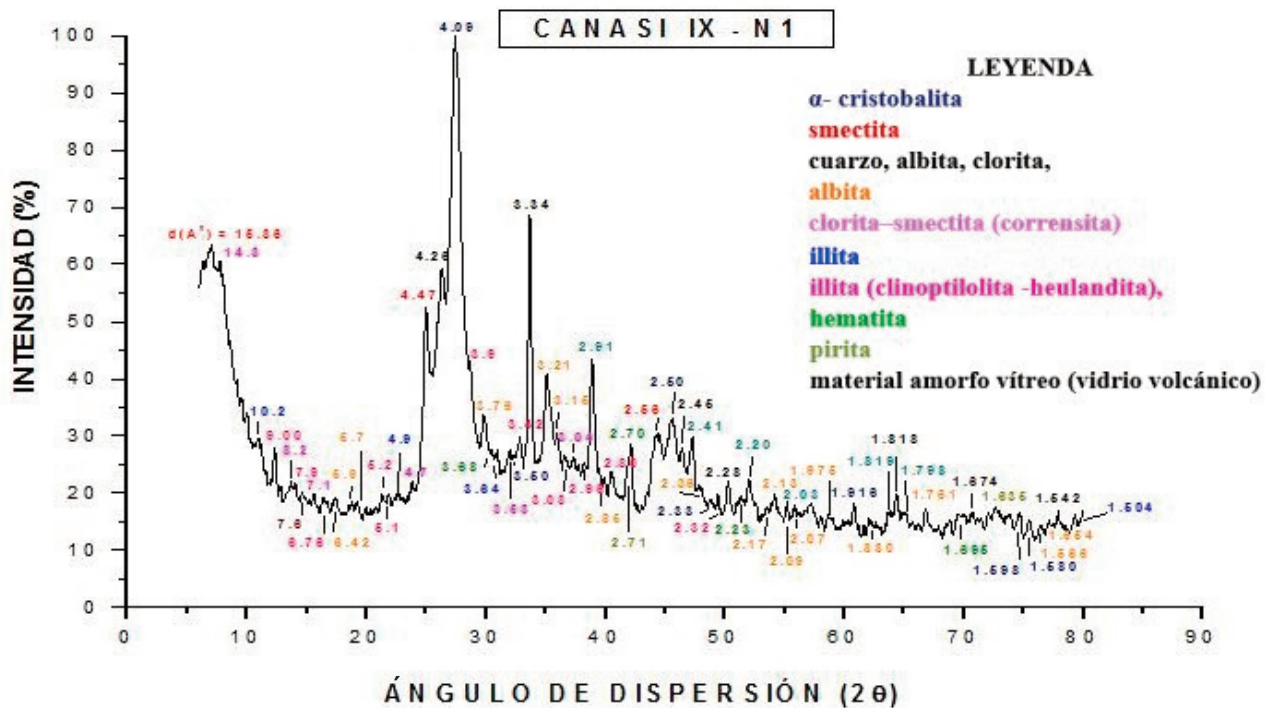


**Figura 2.** Facies radiolárica. (A) Pozo Varadero 709; creta radiolárica, obsérvese radiolarios (círculos); profundidad 2 140 m, 20x. (B) Pozo Boca de Jaruco 1001, claystone radiolárico (radiolarita), radiolarios bien preservados (círculo), profundidad 3 290m, 50X. (C) Pozo Puerto Escondido 11, claystone radiolárico de color verde (radiolarita), radiolarios bien preservados (círculo), piritizado, profundidad 1555 m, 20X. (D) Pozo Guanabo 102, pedernal arcilloso radiolárico (radiolarita). Se observa que los radiolarios están impregnados (porosidad móldica), profundidad 4070 m, 50x.

las cuales se relacionan con una situación de aguas profundas junto a un margen continental (a menudo convergente). Su formación requiere al menos una plataforma inclinada y alguna forma de tectonismo que active el flujo de densidad mediante avalanchas.

En el caso de la Formación Vega Alta, se considera que la existencia de estas radiolaritas, se debe al gran enriquecimiento de sílice acontecido en la cuenca y a los procesos neomórficos antes descritos, unido a corrientes turbidíticas provenientes de terrenos adyacentes. También la disolución de los esqueletos opalinos de esponjas y radiolarios se considera una fuente de sílice para la formación de capas de pederuales y de constituyentes silíceos autógenos tales como la cristobalita, el cuarzo y la calcedonia.

Los análisis de difracción de rayos X realizados, indican la presencia de los minerales arcillosos montmorillonita e illita (grupo esmectitas), y cristobalita (**Figura 3**). Es conocido que las arcillas del grupo de las esmectitas se forman a partir de transformaciones ocurridas en rocas de origen volcánico, en el caso cubano, vinculadas con los sedimentos procedentes del arco volcánico cretácico.



**Figura 3.** Difractograma de polvo, muestra M-18 (Canasi 1X).

Los procesos diagenéticos producidos durante el enterramiento, implican cambios mineralógicos que afectan a los minerales arcillosos. A grandes profundidades con el aumento de la presión y la temperatura, las arcillas se hacen muy reactivas. La reacción más significativa que ocurre a profundidad es la de la conversión de esmectita a illita. En esta conversión la esmectita pierde su agua interlamilar a unos 1000 y 1300 °C, al pasar a interstratificados de montmorillonita e illita.

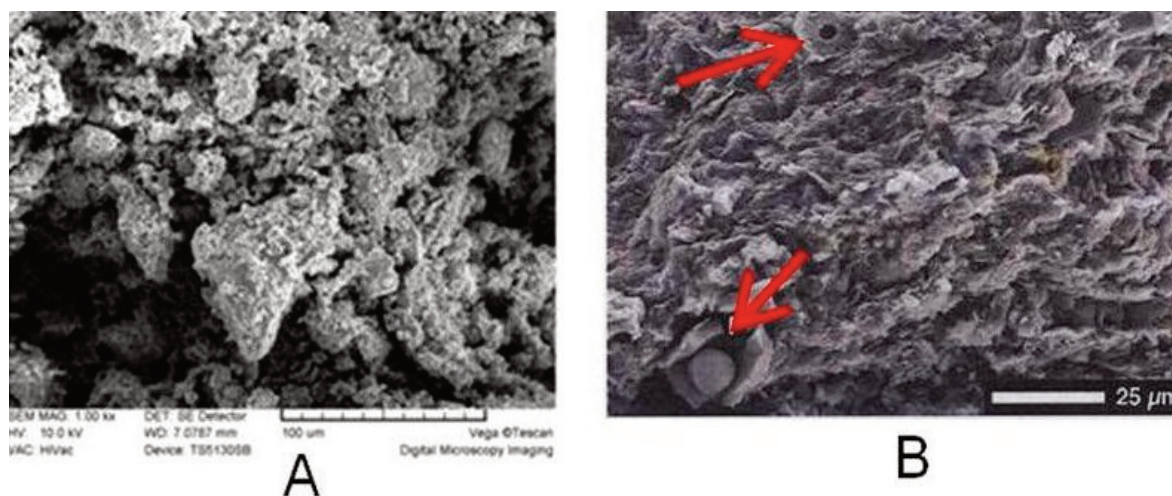
La presencia en las arcillas estudiadas, de vidrio volcánico en conjunto con minerales, como la analcima y la heulandita, determinados en los análisis de difracción de rayos X, constituye una evidencia que indica a las rocas volcánicas como la principal fuente de aporte (Figura 3). Tanto la analcima como la heulandita son minerales secundarios acumulados en grietas y fisuras de rocas ígneas, en lo fundamental basaltos. Estos minerales, al igual que la cristobalita, se originan de la alteración de rocas volcánicas (Morales, 2021).

Esta facies radiolaria en gran parte de los pozos estudiados, se caracterizan también por la presencia de una fracción arenosa y o limosa de cuarzo, pedernales, feldespatos, plagioclasas y serpentinitas. Al parecer, toda esta fracción responde a procesos de resedimentación y redeposición producida a través de

corrientes turbidíticas, provenientes de fuentes de aportes muy productivas. Este origen explica la variable composición de los granos y la mala selección de los mismos. En los trabajos realizados en los sedimentos cubanos, se constataron en estas rocas, señales de deslizamientos submarinos determinados por manchas carmelitosas, verdosas de forma irregular. Esto podría inferir que estos sedimentos pudieran haberse desplazados de zonas donde se depositaron de forma inicial propensa al desarrollo de radiolarios, vinculadas con probabilidad, a secuencias ofiolíticas (Morales, 2021).

Los rasgos texturales típicos observados en las imágenes obtenidas a través de la microscopía electrónica (**Figura 4A y 4B**), indican la existencia de aglomerados de arcilla y la ausencia de laminación, que indica que las rocas estudiadas se depositaron en ambientes de elevada energía. La laminación es determinada por el proceso de sedimentación. En ambientes tranquilos la deposición se presenta según la dirección de orientación preferencial y la roca exhibe textura laminar en todas las escalas, en tanto que, en ambientes altamente energéticos, las rocas arcillosas, por lo general, no presentan laminación, o sea, su textura es al azar (Morales, 2021).

El porcentaje de minerales arcillosos, por lo general, varía con la distancia de la fuente de aporte.



**Figura 4.** (A) Micrografía, Illita –Smectita, pozo Canasí 1X, Núcleo 1, Formación Vega Alta. (B) Las flechas señalan poros ocluidos de sílice (ópalo).



Las cretas puras se relacionan en lo fundamental con procesos transgresivos en áreas de aporte poco productivas y lejanas (Sholle, 1977).

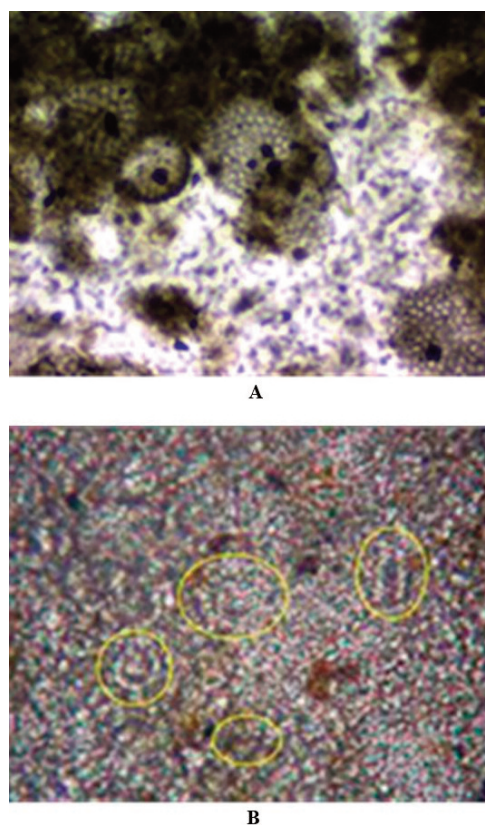
Esta facies presenta variaciones microfaciales, tanto laterales como verticales, reflejo de sus características sinorogénicas. Las transiciones microfaciales se dividen en tres tipos. El primer tipo refleja facies de aguas someras, caracterizadas por calcarenitas y areniscas. El segundo tipo de variación facial, representa la transición hacia áreas donde se incrementa el aporte terrígeno clástico (no en aguas profundas). Esta variación facial se caracteriza por el paso de las cretas a limolitas y lutitas. El tercer tipo de variación es común solo en sedimentos abisales y refleja el paso de cretas formadas encima del nivel de compensación de carbonatos (C.C.D) hacia facies por debajo de este nivel, donde se incrementan los procesos de disolución. Estas facies se caracterizan de forma litológica, por la presencia de lutitas negras y pedernales (Hancock, 1975).

#### Consideraciones bioestratigráficas

Otro aspecto importante, es el hecho de que gran parte de estas facies radioláricas constituyen de forma litológica, cretas de nanoplancton calcáreo (**Figura 5**), donde las arcillas son el componente insoluble más importante presente en estas rocas. Estos sedimentos presentan una biota caracterizada por radiolarios, coccolitos y foraminíferos pelágicos. Estos organismos desarrollan un estilo de vida pelágico, lo cual indica que los sedimentos descritos se acumulan en condiciones de aguas profundas en cuencas abiertas. Estudios detallados de las asociaciones de nanoplancton calcáreo y radiolarios realizados en el Núcleo 1 del pozo Canasí 1X, los datos primarios de foraminíferos planctónicos y bentónicos grandes ya reportados, permitió la datación de los depósitos en el intervalo estudiado (1780-2015 m), esto permitió restringir la edad del mismo a Eoceno Inferior Ypresiano. Desde el punto de vista litológico, este límite está marcado por la aparición de las radiolaritas (**Figura 5 A**). A partir de los fósiles encontrados, se infiere que existía un ambiente marino de aguas profundas con aportes de corrientes de turbidez en el momento de la sedimentación. Entre los radiolarios que

evidencian los procesos turbidíticos se señalan la *Conosphaera mammilata*, *Dictyomitra* sp, *Dictyomitra striata* del Cretácico superior.

Otro aspecto que indica también la influencia de las corrientes turbidíticas, es la presencia de nannoconus en conjunto con coccolitos y otros fósiles terciarios. Este es un hecho observado en secuencias similares del pozo Boca de Jaruco 1000. En los 3760 m se observan fragmentos de calizas con *Planorotalites* sp; *Morozovella* aff. *aequa*; *Acarinina* sp; *Chiloguembellina* sp; *Thorasphaera* sp; *Braarudosphaera bigelowi*; *Nannoconus* sl (redepositado); globigerínidos; coccolitos, donde se reporta una edad del Paleoceno-Eoceno Inferior parte baja, con redeposición del Cretácico Inferior (**Figura 5B**).



**Figura 5.** (A) Arcillita radiolárica, Canasí 1x, 100x, cn. (B) Nannoconita, recrystalizada de modo fino, nannoconus recrystalizados (círculo), impregnada de modo fuerte (sección delgada a partir de fragmentos redondeados de calizas, abundante matriz de creta friable, masiva, microlaminada por juntas de disolución de forma rara. Impregnación fuerte, uniforme. Profundidad 2160 m, 400x, pozo Varadero 709, cn.

## CONCLUSIONES

- Los estudios realizados en pozos de la FNPC observaron la presencia de rocas con un elevado contenido de radiolarios y abundante componente carbonatado (cretas de nanoplancton calcáreo) en más de un treinta por ciento, aspectos que permitieron definir las como facies radiolárica.
- Esta facies se manifiesta intercalada entre las facies arcillosas, carbonatada y las radiolaritas. Por su posición estratigráfica en la base de la formación, establecen una variación facial tanto lateral como vertical donde, de modo indistinto, es posible observar cretas radioláricas, claystone o pedernales radioláricos (radiolaritas). La posición de estas litologías, justo encima del reservorio, constituyen un marcador regional conocido como «Marcador de Radiolaritas», lo que confirma el vínculo entre la facies radiolárica y las radiolaritas *sensu stricto*, lo que constituye un marcador regional próximo a los reservorios en la FNPC, dentro del sello regional.
- Estos sedimentos presentan una biota caracterizada por radiolarios, cocolitos y foraminíferos pelágicos donde se reporta una edad del Paleoceno-Eoceno Inferior parte baja, con redeposición del Cretácico Inferior. Los fósiles encontrados permitieron inferir que existía un ambiente marino de aguas profundas con aportes de corrientes de turbidez en el momento de la sedimentación.
- La presencia de estas rocas en la base influye de forma positiva en la calidad de la formación como sello, dada su baja permeabilidad y la plasticidad que éstas alcanzan a grandes profundidades.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Arche, A.**, 1992, Sedimentología I. Edición corregida y aumentada. Madrid: Consejo Superior de

Investigaciones Científicas, p. 528

**Gressly, A.**, 1838, Observations géologiques sur le Jura soleurois. Nouveaux mémoires de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Neuchatel, 2, p. 349

**Hancock, J. M.**, 1975, The sequence of facies in the Upper Cretaceous of Northern Europe, compared with that in the Western Interior, in The Cretaceous System in the Western Interior of North America: Geolo. Assoc. Canada Spec. Paper 13: 83-118.

**Kantchev, I.**, 1978, Informe de Geología, Provincial Las Villas. Resultado de las investigaciones geológicas y levantamiento geológico a escala 1:250 000, años 1969-1975. Informe Inédito ACC., CNFG, La Habana (Cuba), (1), pp. 889-908.

**Krumbein, W.C., Sloss, L. L.**, 1963, Stratigraphy and Sedimentation. W.H. Freeman and Co., San Francisco, p. 660

**Morales, C.**, 2008, Estudio litológico facial del sello en la Franja Norte de Crudos Pesados. Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Tesis presentada en opción al Título Académico de Maestría en Geología, p. 106

**Morales, C.**, 2012, Evaluación Integral del Sello. Etapa 5. «Estudio integral de las rocas sellantes en los yacimientos petrolíferos de Cuba». Proyecto 7043. Centro de Investigación del Petróleo.

**Morales, C., George de Armas, E., López, S. García, D.**, 2013, Caracterización mediante métodos instrumentales del sello de Yacimientos petroleros de La Franja Norte de Crudos Cubanos, Anuario de la sociedad Cubana de Geología, (1), pp. 13-17.

**Morales, C.**, 2021. Estudio litológico facial del sello en la Franja Petrolera Norte Cubana. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Geociencias. Tesis presentada en opción al Título Académico de Doctor en Ciencias Geológicas, p. 103

- Rojas, R., y Denis, R.,** 2013. Influencia climática de los sistemas turbidíticos del Paleógeno Cubano. Anuario de la sociedad Cubana de Geología, (1) , pp. 83-94.
- Reguant, S.,** 1971, Los conceptos de facies en estratigrafía. Acta geológica hispánica, VI (4): pp. 97-101.
- Segura, R.,** 1973, Introducción a la Petrografía: España, Ediciones URMO, Espartero, 10 Bilbao, p. 208
- Selley, P. A.**1977. Deposition, diagenesis and hydrocarbon Potential of deeper water Sedimentation. A.A.P.G. Continuing Education Course Notes Series, 7, p. 63.
- Sholle, P.,** 1977, Chalk Diagenesis and Its Relation to Petroleum Exploration: Oil from Chalks, a Modern Miracle? The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Treatise of Petroleum Geology, 61(7), pp. 363-390.
- Fecha de recepción: 20 de enero de 2023  
Fecha de arbitraje: 1 de febrero de 2023  
Fecha de aprobación: 20 de febrero de 2023

