

NOMENCLATURA DE LAS ROCAS PELÍTICAS

Franklin G. Yoris*

Recibido: 11 de septiembre de 2017

Aceptado: 16 de octubre de 2017

Este escrito busca unificar la terminología y nomenclatura de las rocas pelíticas en descripciones litoestratigráficas del subsuelo. Está dirigido a los estudiantes de Ingeniería de Petróleo y afines, como material de consulta, y a todos aquellos profesionales y técnicos relacionados con los yacimientos de hidrocarburos que deseen ampliar sus conocimientos sobre el tema. El objetivo no es crear una clasificación taxonómica nueva de nombres de roca o sedimento. Por el contrario, lo que se recomienda es que todos los subtipos composicionales o texturales puedan ser considerados como tradicionalmente se hace, con sistemas de dos, tres o cuatro componentes, es decir, con los triángulos y tetraedros estadísticos tradicionales. Reiteramos: aquí no se busca complicar la discusión terminológica, queda, pues, libre el lector profundizar en esta temática.

Se ha incluido un glosario de términos con la finalidad de hacer más fácil la lectura y comprensión de los justificativos asociados a la revisión de la nomenclatura que se presenta.

Las rocas pelíticas son, por definición, las litologías asociadas al elemento de roca sello del sistema petrolífero y, en algunos casos, al elemento de roca madre. Por otra parte, la connotación de textura y grado de litificación/compactación es sumamente importante para los efectos de consistencia respecto a los métodos de completamiento e incluso los diseños de perforación: el comportamiento de los materiales de la columna sedimentaria debería estar indirectamente relacionado con el término que la describe. Adicionalmente, es posible que algún término esté en contradicción con el buen uso del español y sea saludable comenzar a restringir su uso generalizado, en paralelo con las razones ya expuestas.

Primero que todo, recordemos que el uso de los términos psephitas, psammitas y pelitas nace de la necesidad de referirse a un posible protolito de una roca metasedimentaria que perdió por completo su textura original y se presenta, por ejemplo, como una filita, un esquisto o un gneis (ver glosario). El término pelita también es útil, en general, para referirse a todas las rocas clásticas de grano más fino que el límite inferior de la arena (1/16 mm, escala de Wentworth [1922]). En la obra original de Pettijohn (1970), esta discusión se encuentra planteada en una forma en extremo razonable y, en principio, es la que el autor recomienda para abordar el tema de nomenclatura de las rocas que entrarían a formar parte de los sedimentos finos de muchos ambientes sedimentarios

* Ing. geólogo, magíster en Ciencias Geológicas, doctor en Ciencias Geológicas. Consultor en Geología para la industria minera y petrolera. Profesor investigador, Programa Ingeniería de Petróleos, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. ORCID: 0000-0002-7339-9759. franklin.yoris@profesores.uamerica.edu.co

marinos o continentales. En dicha publicación se mencionan los análisis granulométricos realizados a las lutitas o *shales* a escala mundial, en los que se establece que el tamaño de grano promedio no es el de la arcilla ($< 1/256$ mm), sino más bien el del limo ($< 1/16$ mm, $> 1/256$ mm), de tal manera que, granulométricamente, la mayoría de las lutitas vendrían a ser limos arcillosos, pero sus nombres están lejos de tener esta connotación. La razón principal de esta variante es que las rocas pelíticas están signadas por multitud de objetivos para definir las. Por ejemplo, si se quisiera que su nombre fuera la connotación del régimen hidrodinámico donde se sedimentaron, el problema es que los sedimentos granulares en el agua pueden seguir la ley de Stoke (véase glosario: ley de Stoke) hasta cierto tamaño de limo; no obstante, en un momento determinado la sedimentación pasa a ser gobernada por el equilibrio de fuerzas electrostáticas o su velocidad, muy disminuida debido a que la viscosidad del fluido, empieza a tener una gran importancia, lo que determina también que la forma de la partícula (y su peso) pase también a ser una variable de la que dependerá su velocidad de caída.¹ Debido a ello, es muy delicado definir los regímenes hidrodinámicos a partir de la granulometría de rocas pelíticas. Si se toma en cuenta su composición, hay que establecer si es la química, o la mineralógica, o ambas; estas composiciones pueden ser indicativas de su grado de litificación, origen probable, historia diagenética, etc. Si se considera su textura/estructuras internas (p. ej., fisilidad, ichnofacies), el medio sedimentario puede ser identificado o categorizado. Las combinaciones de granulometría-composición-textura-estructuras internas finalmente pueden ser empleadas para su nomenclatura y, al menos cualitativamente, ayudar a interpretar su origen y competencia mecánica. Esto último sería de gran ayuda si siempre se hiciera de manera consistente y no se mezclaran los términos específicos. Quizás ahora sea la oportunidad de recordar que la recomendación que aquí se hace está basada también en la experiencia personal de quien esto escribe: la aplicación de los términos puede tener multitud de objetivos, pero si la clasificación terminológica que se emplea puede ser aplicada en la mayoría de las situaciones con una ventaja práctica inmediata, esto justifica su uso.

Vemos entonces que entre los tamaños más finos, es decir, medidas inferiores al de la arena (1/16 mm), se encuentra el campo de las rocas pelíticas. A continuación se propone un primer glosario de nombres y definiciones que se recomienda aplicar.

Limolita. Roca clástica, fundamentalmente granular, debido a esta selección granulométrica especial (1-2 clases granulométricas de la escala de Wentworth [1922]). Se ha considerado que el viento es el principal agente de transporte (para los limos gruesos) y que es característico del loess (las partes más finas del limo más arcilla, granulométricamente hablando). Las litologías limosas pueden encontrar en el fondo de lagos o lagunas, o incluso en ambientes alejados de la costa, donde esta fracción se mezcla y se concentra con el sedimento en suspensión de la desembocadura de ríos y sistemas paludales. Puesto que granularmente se caracterizan por minerales (variedades de cuarzo y feldespatos) diferentes a los filosilicatos escamosos, las limolitas típicas suelen estar bien litificadas (poca porosidad) y formar capas delgadas interestratificadas con capas pelíticas. Si tienen composición de minerales lábiles (p. ej., ceniza de vidrio volcánico, feldespatos, carbonatos, entre otros) pueden desarrollar porosidad secundaria importante y constituir yacimientos de propiedades muy particulares (“no tradicionales”, en el sentido definido por Yoris [2013]), que no deben confundirse con algunos tipos de “no convencionales” (en el sentido como han sido definidos generalmente [véase, por ejemplo, Holditch, 2006]). La diagénesis de las rocas limolíticas es de vital importancia para su futuro desarrollo como yacimientos potenciales de hidrocarburos,

¹ Esto es particularmente importante para partículas o caparzones de plancton, que tienen una granulometría tamaño limo y que también tienen protuberancias/ornamentos y hasta prolongaciones de protoplasma que permiten su flotabilidad en vida, y que al morir hacen que su descenso sea tan lento que pueden darle la vuelta al globo por las corrientes oceánicas, para finalmente depositarse a miles de kilómetros de su sitio original de vida.

gracias a la porosidad secundaria. El mineral más abundante y el cemento pueden emplearse en una combinación adecuada que permita definir integralmente el origen e historia diagenética de una roca como ésta; por ejemplo: limolita cuarzosa-arcillosa, limolita cuarzosa microfósilífera, limolita microfósilífera glauconítica, etc. Aquí debemos recordar que una limolita arcillosa podría ser interpretada como un término granulométrico, cuando el autor originalmente puede estar refiriéndose a una limolita (granulométricamente hablando) con minerales de arcilla presentes (esto es más complicado si los minerales de arcilla son de origen autigénico, diferente al de las partículas que se sedimentaron originalmente); esta deficiencia ocurre porque se tiene el mismo término “arcilla” para la parte granulométrica y para la mineralógica.

Un tipo particular de limolitas arcillosas está constituido por las variedades que se depositan en el mar profundo o zonas del talud continental, donde llegan los sedimentos en suspensión y el polvo que acarrea el viento desde zonas desérticas continentales adyacentes o zonas volcánicas adyacentes (p. ej., ceniza volcánica tamaño limo). Cuando este sedimento limo-arcilloso se mezcla con material calcáreo de microfósiles y se cementa parcialmente con calcita autigénica, manteniendo una textura blanda y fisil, suele recibir el nombre de marga. Las margas también pueden formarse en lagunas costeras; en estos casos, la asociación fosilífera es distintiva. No se tratará aquí el caso de sedimentos de mar profundo, transportados por corrientes de densidad y que pueden formar parte de corrientes de turbidez, debido a la gran cantidad de casos y asociaciones litológicas que pueden darse.

Arcilita. Es por lo general un material pelítico sin organización interna, masivo, de color gris claro. La arcilita puede ser arenosa y hasta conglomerática (clastos suspendidos en la matriz). Su textura típica se debe a que constituye lodos de inundación de ríos que se sedimentan rápidamente y no tienen tiempo de seleccionar todas las granulometrías presentes, en la que la matriz limo-arcillosa es la parte fundamental del evento. Puesto que son los sedimentos típicos de las planicies de inundación fluviales, al llegar las épocas de sequía, su tope es colonizado por vegetación; por ello, la bioturbación (estructuras internas de origen orgánico) principal es por raíces de plantas y la meteorización del suelo las torna de matices abigarrados típicos. Estas arcilitas pueden estar interestratificadas con lodos heterolíticos (véase: varvas) de depósitos lagunares y lacustres y en forma similar al de lagunas costeras, por ello la asociación paleontológica es vital para su designación en el ambiente de sedimentación correcto. Asimismo, es importante la mineralogía de estas arcilitas; por ejemplo: los colores grises claros suelen estar asociados al mineral kaolinita² (esto es normal en el ambiente continental), y si están interestratificadas con areniscas, la matriz detrítica será muy seguramente también kaolinitica. Las arcilitas son típicamente de poca compactación; igualmente, son plásticas al contacto con el agua por su alto contenido arcilloso; si el componente illítico o smectítico es importante, pueden ser litologías de mayor cuidado al perforarse, debido al hinchamiento que sufrirán por la adsorción de agua en las estructuras de los filosilicatos diferentes a la kaolinita.

Lutita/lodolita. El término *lutite* fue usado por primera vez por Grabau en 1904. En la segunda mitad del siglo XX, el término se usó en Latinoamérica como el equivalente del inglés *shale*. De acuerdo a la definición empleada por Pettijohn (1970), una lutita queda enmarcada dentro de una granulometría limo-arcillosa, pero con la característica principal de ser blanda y fisil. En este caso, la dureza se refiere en el orden relativo (“más blandas que...”) respecto a las litologías competentes que estén interestratificadas con ellas, y particularmente con una fisilidad que las diferencia de las arcilitas compactas definidas anteriormente. Las lutitas son normalmente de colores más oscuros que las pelitas de ambientes continentales, debido a que sus filosilicatos son más bien illí-

² Es bien sabido que la kaolinita es capaz de migrar durante la producción en yacimientos de este tipo y taponar las gargantas de poro si las fuerzas de arrastre son grandes.

ticos (gris verdoso) o cloríticos (marrón o verde oscuro) y tienden a contener una mayor cantidad de fragmentos (micropartículas) carbonosos o simplemente mayor cantidad de materia orgánica que las arcilitas continentales. Por supuesto que hay variaciones composicionales hacia mayores o menores proporciones de otros minerales arcillosos (p. ej., chamosita/glaucionita, smectita, fosfatos) asociados a mayor o menor cantidad de ceniza volcánica, feldespatos y material fosilífero/microfosilífero calcáreo (moluscos, foraminíferos) o silíceo (espinas de esponja, diatomeas, radiolarios). La variación en proporción materia orgánica-arcilla-microfósiles-limo cuarzoso-cemento calcáreo/silíceo es grande y continua; tanto así que se pueden crear términos confusos, cuya aplicación hace difícil el seguimiento de la continuidad lateral de las facies, especialmente para los casos de rocas madre potenciales (el sólo tema de las variaciones posibles de facies lodosas con estas características amerita un artículo aparte). Aquí nos conformaremos con decir que para que una pelita “negra” (rica en materia orgánica) pueda recibir el nombre de lutita (no *shale*) debe ser predominantemente limo-arcillosa (limo de origen detrítico), relativamente blanda y físil; si por la alta cementación de carbonato (normalmente calcita) no es blanda, sino dura y compacta, tal que su fractura se aproxime a concoidea, entonces es una lodolita (con el “apellido” que convenga; p. ej., lodolita microfosilífera silícea, etc.); si es dura y compacta y además laminada (la laminación suele ser causa de una sedimentación rítmica en el fondo marino o lacustre), es una lodolita laminada, con la connotación que ayude más en su nombre (p. ej., lodolita silícea laminada, microfosilífera). Recordemos que todos los tipos intermedios pueden darse, por lo que la mejor clasificación será aquella que cuantifique mejor la participación de los componentes³. Existen casos en la geología de Suramérica en los que las lodolitas silíceas en general han sido llamadas *chert*. El autor es de la opinión que este término sólo sea usado para designar la forma mineral del cuarzo microcristalino asociada a la recristalización diagenética de sílice en estos estratos, mientras que a las capas donde ocurre tal fenómeno hay que continuar llamándolas lodolitas silíceas o ftanita, de origen francés y también ampliamente usado en las obras de geología de habla hispana (véase Yoris, 1984a, 1984b). Por otra parte, se ha llegado a emplear el término “porcelanita” a litologías de lodolitas silíceas/ftanitas, particularmente, a aquellas derivadas de lodos marinos con diatomeas en California (véase Taliaferro, 1934), e incluso se ha intentado generalizar su uso en Colombia. Este término, también tiene problemas y puede ser sustituido perfectamente por el de ftanita o lodolita silícea, según sea el caso. Finalmente, la palabra “lodolita” podría tener un símil del término inglés *mudstone*, que se refiere a una caliza muy arcillosa en la clasificación de tipos petrográficos de Dunham (1962). Afortunadamente, la acepción en español para este término es el de caliza lodosa, nombre que no suscita mayor confusión entre los conocedores de dicha clasificación y sus equivalentes en español. Para el caso inverso, es decir, para el traslado de lodolita al inglés, habría que resolverlo haciendo la aclaratoria en la aplicación de un *mudstone* siliciclástico y no carbonático; pero esto es un problema de otro tipo, muy diferente al que aquí se quiere resolver.

Fanglomerado. Término especial para designar conglomerados suspendidos en lodo que son característicos de deslizamientos gravitacionales masivos. Como su nombre lo indica, se trata de rocas litificadas en las que el lodo de la matriz ha pasado a ser una lodolita. Los fanglomerados pueden encontrarse en ambientes continentales (abanicos aluvionales en el margen de zonas más elevadas, adyacentes a llanuras y bordeando los valles fluviales) y en deslizamientos submarinos, al pie de cañones submarinos o al borde de cuerpos de agua, donde puedan alcanzar los flujos y avalanchas de lodo (“deltas de abanico” [véase Nilsen, 1998, pp. 49-86]). Casos particulares pueden

³ Así, por ejemplo, la cantidad de materia orgánica es independiente del laminado; pero todo depende de cuán importante es la característica para una descripción: si lo que importa es la anisotropía en la roca, el “laminado” debe ir antes que lo composicional. Lo mejor es fijar un criterio taxonómico antes de clasificar una roca compleja con uno u otro nombre.

darse al pie de arrecifes o acumulaciones carbonáticas, pero es un tema extenso que se debe tratar en un artículo aparte. Particularmente importantes son los flujos gravitacionales de este tipo adyacentes a islas volcánicas y márgenes tipo andino. La principal diferencia entre un fanglomerado y un conglomerado es que, en el primer caso, los clastos tamaño grava y bloques están suspendidos en una matriz de lodo, y en el segundo, el “edificio” de los clastos está en equilibrio en el espacio, inicialmente sin la participación de la matriz; ésta es inyectada posteriormente durante el enterramiento o inmediatamente después que se acumula la grava; en consecuencia, los conglomerados suelen tener mucho mejor escogimiento y la clase mayor de grano de mucho menor tamaño que en los fanglomerados.

Argilita. Cuando una roca pelítica comienza a pasar el umbral del metamorfismo aparecen minerales que se consideran de tipo metamórfico en vez de diagenético, especialmente porque la roca ha alcanzado su compactación máxima y la neomineralización empieza a ocurrir con reacciones de fases minerales internas de la roca; los nuevos minerales empiezan a aparecer en los planos de clivaje, como precursores de una futura foliación. Es en este momento cuando el término de argilita debe usarse. El término ha tenido en el pasado múltiples acepciones (véase, p. ej., Neuendorf, Mehl y Jackson, 2005, p. 35); la más sencilla y recomendable es la de estadio intermedio entre la diagénesis profunda de una lutita o lodolita y una pizarra verdadera (con clivaje pizarroso típico y comienzo de mineralización paralelamente a estos planos, especialmente de filosilicatos como muscovita y clorita). Para los fines de la geología del petróleo, esta litología estaría mucho más allá de la ventana de gas y no tendría mayor aplicación práctica, ni siquiera como reservorio no convencional; estaría más asociado a un basamento no económico. Litologías como esta se podría esperar que se encuentren, por ejemplo, en el fondo de los grábenes de los Llanos Orientales como parte de rocas sedimentarias prepaleozoicas.

Arcillolita. Este término tiene como equivalente literal el término inglés *claystone*, entre cuyas múltiples acepciones está la de roca ígnea intensamente meteorizada a arcillas (Neuendorf et ál., 2005, p. 120), lo que podría suscitar que su aplicación sea confusa. Por supuesto, también se aplica a rocas sedimentarias arcillosas compactas (p. ej., Flawn, 1953), pero fundamentalmente constituidas por partículas tamaño arcilla. Ya hemos visto que en la naturaleza esto puede ser muy difícil de encontrar; más aún, la complicación con minerales del grupo de las arcillas vs. el tamaño de partículas tamaño coloidal sedimentadas en las cuencas oceánicas profundas (abisales o hadales) no es una litología frecuente de encontrar en las cuencas petrolíferas; si esto sucede es porque han sufrido un transporte tectónico considerable y normalmente su diagénesis intensa enmascarará mucho su carácter original. La conclusión práctica sobre este término es que preferiblemente no se use. Ya vimos que si la roca es blanda y masiva, el término que le corresponde es el de arcilita; si es dura y masiva, lodolita; si es dura y laminada, lodolita laminada; si es relativamente compacta-físil o blanda-físil, lutita; aquí estarían representadas más del 99 % de los casos de litologías pelíticas importantes como sellos y hasta algunos tipos de rocas-madre en la geología petrolera colombiana.

Una de las ventajas prácticas de la unificación de la nomenclatura de las descripciones de muestras y núcleos (corazones) de pozo, tanto convencionales, como de pared (*side-wall cores*), es que éstas son la base principal del modelaje de yacimientos en función de la litoestratigrafía. Estas descripciones comienzan por la escala macroscópica, para luego ser refinadas con el análisis microscópico y petrográfico; estos últimos podrían refinarse aún más con microscopía electrónica y análisis de fases minerales con rayos X. Por ejemplo, las arcilitas, características de ambientes fluviales y predominantes en los yacimientos de la Cuenca Llanos, entre otras, tienen una potencialidad importante como sellos locales y son particularmente plásticas (aun teniendo parte de componentes arenosos, y hasta de tamaño grava); describirlas como arcillolitas (*claystones*) puede inducir a definir las como litologías mucho más competentes y frágiles, con toda la connotación

geomecánica que esto conlleva. En otros casos, se refieren a litologías pelíticas con el término *shale*, que es un anglicismo que se propone eliminar y sustituir por su verdadero equivalente: lutita. Un caso típico de aplicación de *shale* en el subsuelo colombiano es el de llamar así a las lutitas de la Formación León. A pesar de ser un término arraigado, es un anglicismo que no se justifica, pues existe el término en español para sustituirlo y que se aplica ampliamente en la geología de habla hispana. Debido a su competencia, a las rocas de ambientes marinos, cuyo sedimento original es el lodo y que son comunes en el Cretácico tardío de Venezuela y Colombia, es conveniente llamarlas por su nombre adecuado: lodolitas, lodolitas laminadas, etc., en vez de llamarlas *shales* o, en los peores casos, arcillolitas; éste último calificativo se ha usado indiscriminadamente para referirse tanto a litologías plásticas (tipo arcilitas), como a lodolitas y hasta lutitas. Muchas veces ocurrirá en ambientes paludales, como los de la Formación Carbonera, donde hayan variaciones laterales desde planicies de inundación fluvial a ambientes lacustres/lagunares o lagunares/costeros; en estos casos, las pelitas de estos ambientes deben tener variaciones texturales importantes que deberían estar reflejadas en los nombres. Por ejemplo, describir un C7 local con arcilitas en un área y que pase ciertamente a tener lutitas verdaderas en otra área, indica un cambio de facies muy importante que indirectamente atañe a las areniscas de reservorio asociadas; este cambio no se notaría en absoluto si en todos los sitios se les llama a las pelitas asociadas con el mismo nombre específico, y mucho menos si no refleja en ninguno de los dos casos la realidad textural de al menos uno de ellos. Combinar los análisis descriptivos de litología con análisis bioestratigráficos de precisión (micropaleontología, palinología) es extremadamente útil a la hora de reforzar los cambios de condiciones ambientales que inducen cambios texturales en estas rocas. En los casos de pelitas carbonosas es muy importante no llamarlas “carbones” desde un principio; si bien es cierto que los carbones pueden tener residuos de sedimento, la proporción *carbón: sedimento* es importante también; en este sentido, el geólogo de pozo debe estar alerta para reconocer si los carbones están en láminas o capas interestratificadas con pelitas, así como para estimar los espesores individuales de las litologías carbonosas-puras, los que posteriormente se pueden refinar con mucha mayor precisión por medio de las herramientas de registro de pozo y la evaluación petrofísica.

No está de más recordar que toda interpretación petrofísica de valor debe basarse primero que nada en conciliar los datos de litofacies (descripciones macroscópicas y petrográficas incluidas) y sus análisis de propiedades de yacimiento convencionales o especiales a partir de núcleos (corazones) con los valores y métodos obtenidos a partir de la aplicación de la metodología petrofísica. La evaluación petrofísica así obtenida es la base fundamental para el futuro modelaje-aprovechamiento del yacimiento y para la aplicación más eficiente en los principios geomecánicos y diseño de completamientos en los pozos de desarrollo subsiguientes (véase, p. ej., López et ál., 1998; Chedid et ál., 1999, 2000).

GLOSARIO

Abisal. Las profundidades abisales se encuentran en el océano abierto, más allá del alto continental, al pie del talud continental, entre 4000 y 6000 m de profundidad. El sedimento que caracteriza a estas profundidades es el lodo conformado por caparazones de microfósiles planctónicos (conocidos como *ooze*) y arcillas pelágicas muy puras, usualmente de color verdoso a rojizo.

Autigénesis. Este término se refiere al proceso de formación de minerales nuevos y recristalización de otros durante el enterramiento de los sedimentos en su proceso de litificación. A los minerales nuevos formados durante la diagénesis se les llama autigénicos. Muchos de ellos son por recristalización de fases minerales ya existentes, por lo que en algunos casos sus composiciones son

muy similares o idénticas a las originales (p. ej., en sedimentos carbonáticos: aragonito → calcita alta en Mg [véase Folk, 1959; Milliman, 1974; entre otros]). Los procesos autigénicos son destructores y productores de porosidad; de no ser por estos procesos en muchos yacimientos el petróleo nunca se hubiera acumulado (de ahí la importancia de esclarecer la historia de la diagénesis en cada yacimiento).

Benthos. Término derivado del griego *benthos* ‘fondo marino’. Organismos que viven sésiles o que deambulan en el fondo de los mares (o cuerpos acuosos). Estos últimos son los principales causantes de las llamadas “ichnofacies” o estructuras de origen biológico supuesto, que se pueden identificar en rocas del pasado geológico.

Bioestratigrafía. Es una rama de la Estratigrafía que se encarga del estudio taxonómico, biológico y bioquímico de las formas vivas del pasado que han quedado preservadas como fósiles y trazas en los sedimentos. Como se conoce cada vez más la evolución de las formas de vida, al combinar esta información con dataciones isotópicas precisas de capas (normalmente de origen volcánico) asociadas, la bioestratigrafía permite también establecer el tiempo geológico de las unidades estratigráficas.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC). Capacidad que tienen los minerales (p. ej., minerales de las arcillas) para adsorber cationes sobre sus estructuras, debido a las imperfecciones naturales que puedan tener o a la distribución irregular de nubes electrónicas en sus moléculas. La CIC se determina colocando a estos minerales en una solución donde un catión desplaza los cationes adsorbidos y luego se mide la cantidad de cationes expelidos en miliequivalentes por cada 100 g (meq/100 g). Por ejemplo, la kaolinita pura tiene un CIC de alrededor 1 meq/100 g; la illita, de 20-30 meq/100 g, y la smectita, de 60-130 meq/100 g (Weaver, 1989). Los tipos híbridos I/S estarían entre los valores de illita pura-smectita pura y son muy variables, pues dependen del grado de cristalinidad, la presencia de materia orgánica y otros minerales (Shaw et ál., 1998).

C7. Es uno de los ocho miembros informales en los que operacionalmente se subdivide la Formación Carbonera en la cuenca de los Llanos Orientales de Colombia. Estos intervalos están numerados desde el superior (C1) al basal (C8); los números impares son más arenosos que los pares. Su aplicación a escala regional debe ir estrechamente validada con sismoestratigrafía de precisión.

Cañón submarino. Rasgo fisiográfico en algunas plataformas y taludes continentales, en el que la batimetría de sus flancos excede la relación 10:1 en cuanto a pendiente (p. ej., la sección transversal del Cañón Submarino de Monterrey, California, y la del Cañón del río Colorado, Arizona, son muy similares [véase Lapedes, 1978, p. 806]). Pueden estar controlados estructuralmente por fallamiento a lo largo de su trayectoria o también representar una erosión muy agresiva durante períodos de regresión marina; este último rasgo es muy característico a profundidades de plataforma. Si el perfil lateral es inferior o muy inferior a la relación citada, se conocen como valles incisos en la plataforma en vez de cañones submarinos, aunque hay quienes llaman “cañones” a ambos rasgos (Neuendorf et ál., 2005, p. 95).

Carbón. Litología que se refiere a un material originalmente conformado en su mayor parte por materia orgánica vegetal y que se suele acumular en pantanos de planicies fluviales y marismas costeras. Aparecen en el registro sedimentario como depósitos característicos en ambientes paludales. La materia orgánica sufre diferentes estadios de transformación: desde turba (los más someros y menos alterados), hasta antracita (los más compactos y enriquecidos con carbono orgánico por la presión y temperatura de soterramiento), pasando por el estadio de lignito (los carbones más frecuentes, representantes del enterramiento intermedio).

Ceniza volcánica. Es el material más fino del polvo generado en una explosión o erupción de origen volcánico-explosiva (menor de 2 mm). Forma parte importante del material eyectado en una erupción (especialmente las de tipo félsico) y su fracción fina puede, según el caso, abarcar el

globo terráqueo completo. Constituye el material principal de las llamadas “nubes ardientes” de las explosiones volcánicas, como las del Vesubio (79 d. C.) o las del Monte Santa Elena (1980 d. C.).

Chert. Se deriva del término onomatopéyico de origen celta *chirt*, usado para designar el material silíceo con el que los celtas fabricaban las puntas de flecha, además de armas y utensilios (Palache et ál., 1944). En los acantilados del sureste de Gran Bretaña se encuentran calizas cretácicas que contienen ampollas de sílice microcristalina de origen diagenético, denominadas *chert* en tiempos posteriores (las variedades de cuarzo micro y criptocristalino son numerosas y están basadas especialmente en las alternancias de estos subtipos y los colores de impurezas asociados [véase, p. ej., Dana y Hurlbut, 1960], conocidos anteriormente con el nombre de mineraloides). En la lengua inglesa se amplió el uso de *chert* para todo material microcristalino de cuarzo. Actualmente, es un término usado en petrografía cuando se emplean términos en inglés para designar los fragmentos de roca constituidos exclusivamente por cuarzo microcristalino (para ampliar la discusión, véase Yoris, 1984a).

Clivaje pizarroso. Por lo general, una pizarra es una roca pelítica al comienzo del metamorfismo dínamotermal. El efecto de la presión (sea por soterramiento o compresión tectónica) produce un patrón conjugado de planos de fractura penetrativo, que induce a que la roca por su homogeneidad se parta típicamente en lajas o en estructuras prismáticas llamadas lápices. En la Edad Media se construían techos de pizarra y los pedazos pequeños constituyeron las primeras “tejas”. También se ha empleado en tableros de tiza, de ahí el nombre de “pizarrón” para los tableros de institutos educativos en algunos países de habla hispana.

Corriente de turbidez. Régimen hidrodinámico particular dentro de los procesos de sedimentación en masa o gravitacionales, caracterizado por turbulencia y una alta densidad en el sedimento en suspensión. El depósito consiguiente suele ser una arena de grano fino, afectada por estructuras internas de deformación plástica y migración de capiformas características. Se les ha atribuido un carácter de mar profundo para su origen; sin embargo, hay multitud de ambientes sedimentarios donde pueden producirse, aunque estos constituyen solo una parte de todos los procesos que ocurren en el medio.

Diagénesis. Conjunto de cambios químicos y físicos que ocurren en los sedimentos durante el proceso de litificación; comienza desde el mismo momento en que el sedimento queda fijo en su lugar definitivo de preservación y finaliza cuando la roca sedimentaria pierde su capacidad de intercambio de fluidos con el medio circundante, que era calificado hace un tiempo como una condición importante para considerar el comienzo del metamorfismo (p. ej., von Engelhardt, 1967; en Winkler, 1976, p. 10). Para los efectos de los yacimientos de hidrocarburo, el yacimiento en sí se forma y se preserva en condiciones de diagénesis activa, por lo que las reacciones químicas y cambios físicos que alteren o alteraron en el pasado las propiedades originales de permeabilidad y porosidad son una causa muy importante a estudiar en cada tipo de yacimiento. Debido a que la diagénesis se debe considerar un proceso natural, todos los cambios inducidos por el hombre cuando emplea los métodos de perforación, completamiento y extracción del hidrocarburo no deben ser considerados parte de la diagénesis; no obstante, el estudio y comprensión de ésta puede ayudar mucho a entender lo que le ocurrirá al yacimiento cuando se cambien las condiciones fisicoquímicas drásticamente, como, por ejemplo, con los métodos terciarios de recuperación.

Diatomea. Organismo vegetal de caparazón silíceo que se puede encontrar en lagos de agua dulce, el mar e incluso (bajo condiciones atmosféricas particulares) en sitios húmedos de tierra firme. La diatomea forma parte importante del fitoplancton marino y, por ende, de los sedimentos asociados, normalmente profundos. Sus tamaños son muy variados, van desde los 2 mm al microscópico. Existen yacimientos petrolíferos en California (p. ej., Kern River, Elk Hills) con rocas

silíceas porosas del Mioceno, constituidas por un componente importante de diatomeas y a las que se debe su alta porosidad actual, con cambios diagenéticos incluidos.

Esquisto. Roca metamórfica foliada con espesor de láminas de foliación menores o iguales a 2 mm. Estas láminas se forman por la recristalización de minerales durante el metamorfismo, que suelen tender a ser monominerálicas por segregación. El aspecto foliado también recibe el nombre de “esquistosidad” cuando las bandas son como las que caracterizan a esta litología, es decir, menores a los 2 mm. Los planos de esquistosidad se producen por la participación activa de la cizalla en respuesta al esfuerzo tectónico imperante en el medio; los minerales metamórficos se forman y recristalizan en estos planos de cizalla como parte de una estructura de deformación muy activa en el tiempo geológico y que está relacionada con el transporte tectónico de porciones corticales. Los esquistos (o textura esquistosa) también están asociados al emplazamiento de cuerpos ígneos en la corteza, y se ubican hacia el borde de éstos.

Estrato. Capa o capiforma mayor de 1 cm de espesor.

Feldespato. Mineral del grupo de los tectosilicatos o estructuras tridimensionales de tetraedros de silicio oxígeno, cuya proporción Si:O en el polímero ideal es SiO_2 . Si el aluminio sustituye al silicio en este polímero cristalino, se compensa dicha sustitución con la entrada de cationes de K, Na y Ca, lo que produce una variedad de minerales, entre los que se encuentran los feldespatos, como ortoclasa (KAlSi_3O_8) o plagioclasa ($[\text{Na}, \text{Ca}]\text{Al}_{1-2}\text{Si}_{3-2}\text{O}_8$).

Filita. Roca metamórfica foliada, cuya esquistosidad es de carácter menos desarrollado que en el caso de los esquistos típicos y mucho más frágil y deleznable que los primeros. En comparación con el grado metamórfico de un esquisto, se presume que el grado metamórfico de una filita pertenece a un nivel cortical más superficial, o que el protolito era mucho más granular de grano fino, o que los minerales metamórficos que ahora se generan son mucho más del grupo de los filosilicatos (silicatos escamosos, como la muscovita), con un crecimiento rápido que hace que no cristalicen en bandas gruesas o en cristales grandes, por lo que su grano fino (sericitico) sería, en primer lugar, la razón por la que su foliación no es tan perfecta. Sin duda, la composición original de la roca premetamórfica debe tener mucho que ver con la textura de las filitas (hay filitas grafitosas y filitas sericiticas, por ejemplo).

Fisilidad. Propiedad característica de las lutitas. La fisilidad se produce por la presencia de abundantes minerales del grupo de las arcillas (filosilicatos) y de hábito escamoso. Como se organizan preferencialmente al plano de estratificación, al compactarse la roca estas escamas favorecen un plano de debilidad por “textura original”, que no es respuesta a fracturamiento o clivaje como en las pizarras, sino a una laminación interna de la roca pelítica. Si en la diagénesis la roca se hace más compacta y algunos minerales tienden a recristalizar paralelamente a estos planos (como la roca aún expulsa agua), no se considera que es metamorfismo, sino que la roca está laminada. Esta laminación composicional también puede ser herencia de la selección mineral original por decantación en el medio de sedimentación. Una roca pelítica de este tipo, compacta, dura, no tendría fisilidad, sino laminación.

Flujo de lodo. Evento característico que forma parte de los movimientos en masa o gravitacionales en los que el agua está mezclada, lo que crea un fluido de alta viscosidad que se mueve pendiente abajo en los valles de ríos o a través de los diques naturales de los ríos e inunda los sectores adyacentes. Estos depósitos se configuran en dos dimensiones características (*crevasse-splays* o “abanicos de rotura”), que pueden reconocerse por su morfología desde el aire; estos son los típicos lodos de inundación (subaéreos) que eventualmente tienen presencia también como desbordamientos en canales submarinos. Como constituyen un flujo muy espeso, suelen tener en suspensión fragmentos de capas arrancadas del fondo, bloques o cantos de roca de depósitos anteriores y material arenoso abundante flotando en una matriz esencialmente de lodo limo-arcilloso.

Constituyen parte importante de las planicies de inundación de los ríos y, en especial, de los depósitos de abanicos aluvionales. En el ambiente submarino, el flujo de lodo también puede ocurrir como parte de los deslizamientos en masa, gravitacionalmente controlados y que forman parte de los desplomes submarinos en los taludes de pendiente hiper crítica y paredes de cañones submarinos. En el ambiente subácueo la pendiente de estabilidad de acumulaciones limo-arcillosas puede ser inferior a los 5 grados (el promedio de la pendiente natural de los taludes de márgenes pasivos a nivel mundial está entre 2 y 4 grados [véase, p. ej., Cook et ál. 1998, p. 329]).

Foraminífero. Organismo del zooplancton y del bentos marino. Tiene caparazones calcáreos y arenáceos. Sus diámetros son variados, van desde los milimétricos (macroforaminíferos bénticos) hasta las decenas de micras (típico zooplancton). Los foraminíferos son muy útiles para determinación de edades geológicas y la correlación estratigráfica; si van a ser usados para determinar ambientes de sedimentación, se requiere un análisis más detallado y la combinación con otras disciplinas. Cuando son muy abundantes, pueden ser considerados hasta una característica litológica (p. ej., caliza de foraminíferos).

Fractura concoidea. Formas de fractura en una muestra de roca que se asemejan a una concha, similar a la que se observa cuando se rompe un vidrio masivo. La fractura concoidea indica que la roca es muy masiva y dura, sin planos de debilidad interna (como es el caso del clivaje pizarroso o la fisilidad de ciertos tipos de rocas). El hecho de que la roca tenga laminación no es garantía de que se partirá paralelamente a los planos de laminación; esto es común en lodolitas silíceas laminadas (rocas que suelen ser tan masivas y duras que, en vez de fracturarse paralelamente a la laminación, tienen fractura concoidea).

Ftanita. Roca formada fundamentalmente a partir de la recristalización de un lodo originalmente silíceo; la sílice puede provenir de limo de cuarzo o de organismos silíceos del plancton marino e incluso de espinas de esponjas marinas. El término no debería de emplearse para designar una variedad de sílice, sino para referirse a la capa o estrato que presenta esta composición. Una ftanita verdadera es una roca que comprobablemente tiene una composición mayoritaria de sílice microcristalina o criptocristalina, y que constituye una capa o estrato verdadero. Estas capas suelen tener ampollas y vetillas o fracturas rellenas de sílice microcristalina muy pura. Una lodolita silícea puede tener todavía una matriz arcillosa predominante, con una cantidad importante de cemento silíceo, pero inferior a 50 % en peso y volumen; esto haría la diferencia, pues para ser ftanita necesitaría tener más del 50 % de sílice recristalizada. Como se puede ver, pueden existir multitud de combinaciones; en especial, hay litologías reales del Cretácico Tardío de Suramérica que presentan estas lodolitas (en Venezuela, por ejemplo, se encuentran en la Formación La Luna, Miembro Tres Esquinas) y que están compuestas por: materia orgánica, lodo arcilloso, arena-limo de cuarzo, fragmentos fosfáticos, glauconita, cemento de sílice micro y criptocristalinas, fósiles calcáreos y cemento calcáreo. En cuanto a este último componente, una litología cementada de este tipo debe ser tomada con mucho cuidado; de hecho, hasta los análisis químicos deben ser realizados para la correcta asignación de un nombre específico (véase, p. ej., Marcucci, 1976; Yoris, 1984a). En Colombia, esta situación puede darse en todos los equivalentes de la Formación La Luna y el Grupo/Formación Villeta.

Glauconita. Filossilicato de origen diagenético cuya estructura y composición principal es muy similar al del mineral illita (Weaver, 1989, pp. 32-44, 86-93). Debido a que su identificación precisa es muy difícil y necesita de análisis rigurosos con difracción de rayos X, mucho de lo que se ha descrito como "glauconita" puede ser realmente otro grupo de minerales verdes que pueden presentarse en las rocas sedimentarias (por ejemplo, clorititas, chamosita, berthierina, celadonita, etc.); por esta razón y desde hace muchos años, las descripciones petrográficas definen a estas partículas "verdes" como glauconies en vez de glauconitas (véase, p. ej., Heinrich, 1970; Millot, 1970). Su

significado también ha sido actualizado y por esta confusión ya no se le adjudica un origen 100 % marino (inclusive, no se las asocia a zonas de condensación submarinas), a menos que la identificación sea precisa. Es mejor combinar su presencia con otras disciplinas.

Gneiss. Término de origen alemán que en español e inglés se escribe con una sola “s” (gneis). Se refiere específicamente a una roca metamórfica con segregación mineral en bandas mayores a los 2 mm; estas bandas se han interpretado como zonas de cizallamiento a nivel profundo cortical (p. ej., cerca de los 20 km), indicando la posición de los despegues de bloques corticales o “napas” (véase, p. ej., Ostos, 1992). Igualmente, la profundidad de los gneises ha sido asociada a las zonas profundas en los contactos con la roca-caja de los emplazamientos ígneos; estas bandas son la evidencia de la cizalla por el emplazamiento forzado a profundidades donde el metamorfismo dinamothermal es alto debido a la temperatura del magma. Un gneis puede derivarse de rocas sedimentarias previas (para-gneis) o de rocas ígneas previas (ortho-gneis).

Grafito. Forma mineral perteneciente al sistema hexagonal del carbono “puro”. No existe en la naturaleza un grafito estequiométricamente puro, ya que, como se deriva de materia orgánica preexistente, contiene impurezas iniciales de N, H, O y S, entre otros elementos menos abundantes. El grafito, como resultado del metamorfismo en rocas madres antiguas, puede dar origen a esquistos y filitas grafitosas. Hoy en día se puede sintetizar grafito industrialmente (p. ej., carbograf) y no se requiere tanto de los pocos yacimientos de grafito enriquecidos formados naturalmente (p. ej., yacimientos de grafito en Sri Lanka).

Hadal. Ambiente submarino que se encuentra por debajo de los 6000 m de profundidad (Neuendorf et ál., p. 290). Geodinámicamente, corresponde al ambiente en fosas oceánicas asociadas a convergencia de placas; la más profunda es la de las Marianas (Océano Pacífico), con 11 km de profundidad.

Heterolítico. Intercalación de capas de litología diferente, por ejemplo, de arena-lutita, calizalutita, y muy repetitivas. Generalmente se aplica a yacimientos que implican una sedimentación rítmica y delgada. Esto incluye variaciones locales por bioturbación, diagénesis, etc. Este término se prefiere al de “litología compleja”, que puede inducir a pensar que hay complicaciones mucho mayores a las reales.

Ichnofacies. Este término se refiere a las trazas dejadas en vida por los organismos que viven (o “rozan”) en el fondo marino, lagos y lagunas, o que inclusive viven subaéreamente y sus rastros pueden llegar a preservarse. La combinación de *tipo de sedimento + trazas de organismos* constituye las llamadas ichnofacies. Por ejemplo, hay crustáceos que viven en las zonas bajas de las playas y escapan de sus depredadores cavando galerías en el fondo marino, excavaciones y rastros que son preservados y expuestos en tiempos geológicos posteriores o aparecen en los núcleos convencionales de los pozos. La similitud de estas trazas con evidencias conocidas actuales dan pie a pensar que los organismos que causaron estas trazas eran similares, por lo que se les asigna un nombre con rango de género (p. ej., *Ophiomorpha*). El reconocimiento de una asociación de ichnofacies puede ser muy útil para asignar posibles paleoambientes de sedimentación; solo en casos determinados podrían utilizarse para pensar en posibles edades, pero esto normalmente va en combinación con otras evidencias y disciplinas.

Illita. Arcilla del grupo de las micas que constituye una de las variedades que se asemeja a la hidromuscovita o alteración de la mica muscovita $[KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2]$ por adición de agua a la estructura. Es la forma mineral hacia la que recristaliza la smectita en la diagénesis (véase Hower et ál., 1976, p. 733). Puede hincharse parcialmente por adsorción de agua y cationes grandes.

Kaolinita. Arcilla del grupo polimórfico de las kanditas $[Al_2(Si_2O_5)(OH)_4]$ (Kaolinita-Dickita-Nacrita). Esencialmente, la kaolinita se forma por la meteorización de los feldespatos alcalinos (p. ej., ortosa) y en la diagénesis; posteriormente evoluciona hacia la dickita, que es de cristales un

poco más gruesos y mejor formados. En general, la kaolinita-dickita es característica de ambientes lacustres y continentales; su ventaja es que no se hincha por adsorción de agua o cationes (tiene la capacidad de intercambio catiónico más baja en las arcillas); su desventaja es que migra en los yacimientos durante el proceso de producción, taponando las gargantas de poro (cuando el reservorio es rico en kaolinita-dickita es necesario emplear métodos de explotación específicos).

Lago/laguna. Cuerpos de agua dulce en el ambiente continental. La diferencia principal estriba en que los sistemas lacustres son permanentes en el tiempo y tienen entrada y salida del agua con ríos permanentes que aportan y drenan el sistema; esto es muy importante para la biota asociada, debido a los niveles de oxígeno y su estratificación en el agua. Las lagunas son efímeras y suelen ser estacionales; además de tener muy poca profundidad, pasan rápidamente a pantanos que incluso se secan en el verano, pues son sistemas cerrados que carecen de ríos permanentes que las alimenten.

Laguna costera/albufera. Estas lagunas tienen al menos una comunicación con el mar y están regidas por las mareas, tormentas y mares de leva. Usualmente tienen una isla de barrera arenosa que las separa del mar, con una o varias bocas de entrada (dependiendo de la energía del oleaje). Son de poca profundidad y alta evaporación, por lo que suelen estar asociadas a evaporitas o precipitación química-bioquímica de carbonatos, sulfatos y haluros (las salinas donde se explota la sal marina están asociadas a las albuferas). Su sedimentación es del tipo heterolítico en lo que se refiere a las partes internas de la laguna, pasando lateralmente a excelentes arenas de la isla de barrera y costa interior. También tienen variaciones litológicas por los llamados “deltas de marea” en las bocas abiertas de las barras, así como canales de marea en las playas bajas. Constituyen yacimientos excelentes, pero difíciles de drenar (sin un estudio de arquitectura de facies, el recobro será siempre muy difícil y de poco rendimiento respecto al abundante POES).

Lámina. Rango inferior al de estrato, por ello designa las capas milimétricas que se repiten en litologías heterolíticas como *sets* y *co-sets* de láminas, en el sentido definido por McKee y Weir (citado en Neuendorf et ál., p. 146) y van Wagoner, Mitchum, Campion y Rahmanian (1990).

Ley de Stoke. Fórmula que expresa las tasas de asentamiento de partículas esféricas en un fluido: $V = Cr^2$; donde r es el radio de la partícula (cm), V es velocidad (cm/seg) y C es una constante que relaciona las densidades relativas entre el fluido y las partículas, la aceleración de la gravedad y la viscosidad del fluido (Neuendorf et ál., p. 630). Cuando las partículas son muy pequeñas, las fuerzas electrostáticas entre éstas y el fluido hacen que su velocidad de sedimentación se aleje de la Ley de Stoke; por esta razón, la sedimentación fina (limos finos y arcillas) en los mares y ríos está sujeta a leyes muy diferentes a las que simplemente controlan a las partículas más grandes (p. ej., las partículas de arena).

Loess. Término aplicado a depósitos fundamentalmente eólicos y constituidos principalmente por limo y, en menor cantidad, arcilla y arena fina (véase Neuendorf et ál., p. 379). Suelen ser horizontes de menos de 30 m de espesor y con algo de cemento calcáreo, producto de una diagénesis temprana; se encuentran por todo el planeta y son particularmente famosos los de Asia, asociados a los vientos que cruzan el desierto de Gobi desde la última glaciación. Depósitos similares, aunque mucho más compactados, se podrían encontrar en secuencias sedimentarias de todos los tiempos, pero con unas propiedades mecánicas mucho más competentes.

Macroscópico/escala macroscópica. Cuando una descripción se hace visualmente con una muestra en la mano o un segmento de núcleo de tres pies se dice que es a “escala macroscópica”; como tal, debería poder representarse en una escala igual o mayor que 1:10.

Matriz detrítica. De acuerdo a los criterios expuestos por Pettijohn, Potter y Siever (1973), este concepto radica en que una descripción petrográfica debe reconocer y diferenciar entre la matriz detrítica y la que puede tener origen por neoformación autigénica. La matriz detrítica es una

fracción granulométrica de origen detrítico, cuyo tamaño es inferior de 30 micras o es cercano al límite inferior del “limo muy grueso”. La razón es que este tamaño parece ser el límite inferior del sedimento de suspensión que puede asentarse siguiendo la Ley de Stoke y cualquier tamaño más fino que éste, debería ser llevado lejos por la corriente. El hecho de que hubiera material detrítico por debajo de este límite implica que el régimen hidrodinámico es completamente diferente y la carga sedimentaria en movimiento es mucho mayor (p. ej., “corrientes de alta densidad”); esto permite generar una clasificación de rocas clásticas cuyos nombres estén acordes con ciertos regímenes de sedimentación y no que sean independientes de ellos, esto hace que la clasificación escogida sea más eficiente.

Microscópico/escala microscópica. Cuando se necesita emplear un aumento por microscopio estereoscópico de luz reflejada (25-100x) o petrográfico (40-1000x) con luz polarizada, la descripción se considera microscópica. También se puede emplear un microscopio electrónico de barrido (*scanning electron microscope*, SEM) para llevar estos aumentos a varias decenas de miles; con la salvedad en que este último no determina las propiedades ópticas, sino que es el reflejo de electrones secundarios. A estas escalas se estaría trabajando con los granos individuales tamaño arena, limo y hasta de arcillas (dependiendo del aumento), y a la escala de los poros y gargantas de las recristalizaciones autigénicas y de las composiciones o fases minerales que afectarían el comportamiento del yacimiento bajo ciertas condiciones. Es por ello que la petrología sedimentaria es tan importante a la hora de caracterizar debidamente un yacimiento y disponer de datos de núcleos y muestras en general para la adecuación de los mejores modelos petrofísicos a partir de registros y datos/análisis de núcleos.

Núcleo convencional. Núcleo de un diámetro de varias pulgadas que permite, con un corte adecuado, ver los cambios litológicos y las geometrías a escala de láminas y capas delgadas, y otras estructuras, como fracturas, fallas y vetas o recristalizaciones. También permite tomar testigos o “tapones” en zonas de interés para análisis convencionales y especiales. Actualmente, en Colombia es obligatorio hacer una tomografía con rayos X de cada núcleo tomado en el país; estos datos pueden generar, con el tratamiento adecuado, información 3D de las propiedades del yacimiento, lo que permite cotejar posteriormente el modelo petrofísico y los valores de los análisis especiales y convencionales que se hagan al núcleo cortado para su descripción. El diámetro del núcleo convencional es muy importante, ya que de esto depende la toma de tapones para otros análisis convencionales y especiales, incluso ensayos para mecánica de rocas.

Núcleo de pared (*side-wall core*). Pequeños cilindros de 1 pulgada o menos de diámetro que se toman en el pozo (al poco tiempo de haber abierto el hueco) cuando se está literalmente “perforando” las paredes. Si bien no pueden sustituir al núcleo convencional en cuanto a calidad de los datos, al menos permiten visualizar las litologías atravesadas y eventualmente interpretar análisis convencionales de propiedades. Los núcleos de pared se toman así por razones económicas o por rapidez operacional.

Palinología. Disciplina de la bioestratigrafía encargada del estudio de polen y esporas de plantas preservadas en los sedimentos y rocas. El estudio abarca desde taxonomía hasta linaje y evolución de las plantas en las eras geológicas; estos análisis sirven de apoyo a la interpretación de ambientes de sedimentación y rangos de edades geológicas. Debido a la aparición de otros restos resistentes de organismos diferentes a las plantas (p. ej., dinoflagelados, acritarcos), la aplicación de la palinología en geología del subsuelo se ha ampliado sustancialmente en los últimos decenios. Las aplicaciones de esta ciencia abarcan desde la arqueología hasta dataciones de unidades estratigráficas tan antiguas como el Neoproterozoico.

Paludal. Ambientes inundados de poca profundidad que están alrededor de grandes ríos y cuerpos de agua mayores, caracterizados por pantanos y marismas. Dentro de una clasificación de

ambientes de sedimentación, los ambientes paludales caracterizarían a los deltas y estuarios (véase, p. ej., Emery y Myers, 1996). De acuerdo a Neuendorf et ál. (2005), las marismas (*marshes*) se caracterizan por no acumular turba. Aquí se sugiere el empleo de “pantanos” para aquellas zonas bajas inundadas con agua dulce y de “marismas” para zonas similares que al estar adyacentes a líneas de costa o albuferas se inundan con agua de tipo salobre. Es posible encontrar carbones asociados a ambientes continentales y de lagunas costeras; para diferenciar unos de otros, hay que involucrar el estudio de facies sedimentarias y bioestratigrafía/palinología de alta precisión.

Partícula coloidal. Se definen fundamentalmente como partículas de diámetros de 1 μm o menos en el medio acuoso. Nótese que 2 μm sería el tamaño de una arcilla muy gruesa o el límite inferior del rango superior del tamaño arcilla (1/256-1/512 mm). Es conocida la idea de que para lograr una suspensión coloidal de partículas arcillosas hay que mezclar sedimento pelítico en agua y luego centrifugarlo o dejarlo en reposo hasta el día siguiente (se supone que la suspensión obtenida es principalmente coloidal). Desde el punto de vista físico, las partículas coloidales están en suspensión, especialmente, por fuerzas electrostáticas, y presentan un movimiento o vibración permanente (llamado movimiento browniano). La neutralización de estas fuerzas electrostáticas o la adición de iones a la superficie de estas partículas hace que puedan asentarse en el fondo de lagos y mares, lo que produce sedimentos arcillosos muy característicos en unos y otros ambientes. Se asume, por ejemplo, que la sedimentación de minerales de arcilla originalmente coloidales en el océano es un proceso sumamente importante que ocurre especialmente al frente de la desembocadura de los grandes ríos; obviamente, estos procesos son mucho más complejos y debemos alejarnos aún más de la costa, hacia “mar adentro”, para encontrar la situación preferencial de precipitar partículas de 1 μm o menos y de concentrarlas en las “arcillas de los planos abisales”. Aunque no es tema de este punto, se recuerda aquí que un proceso más común de “concentrar” ciertas fases minerales en los fondos (o “planicies”) oceánicos mayores a 4000 m, es la disolución de los fósiles y microfósiles calcáreos debido al límite de compensación de la calcita; esto hace que los delicados caparazones calcáreos del plancton y nanoplancton desaparezcan del sedimento y solo se concentren caparazones silíceos de diatomeas y radiolarios más arcilla y limo. Si la concentración de otros componentes también es baja, se produce la situación ideal para concentrar las arcillas pelágicas.

Pelágico/hemipelágico. Sedimento de “mar abierto” formado principalmente por partículas de origen planctónico (microfósiles) y sedimento limo-arcilloso; en algunos casos, se forma de materia orgánica y por sedimentación/preservación de partículas tamaño arcilla. La fracción detrítica de limo-arcilla es minoritaria en los primeros casos (calizas pelágicas). Cuando la fracción detrítica es la mayoritaria, con componentes importantes de caparazones calcáreos planctónicos y/o bentónicos, se denomina litología hemipelágica, que es característica de la plataforma externa y los taludes continentales (donde el sedimento de suspensión que entra al mar desde la salida de grandes ríos logra llegar y mezclarse con la “lluvia planctónica” del área). La disolución de caparazones calcáreos en la diagénesis les da a estas rocas la composición de cemento calcáreo que las caracteriza. Algunas margas estarían entonces incluidas dentro de la categoría de sedimentos hemipelágicos. En el océano profundo (>4000 m), en cambio, los caparazones calcáreos se pueden disolver y la fracción arcillosa o silícea concentrarse, lo que da origen a otros tipos de litologías pelágicas, como arcillas pelágicas y radiolaritas/diatomitas/novaculitas.

Pelita. Término que ha sido empleado de diversas formas para calificar a una roca que originalmente se formó a partir de un lodo limo-arcilloso. La acepción más usada se refiere a que la roca actual ha sufrido cambios desde la etapa del sedimento inicial; estos cambios pueden ser tan drásticos que incluso pueden ser metamórficos (por eso Bayly [1968] lo propone para designar el tipo de protolito anterior a un metamorfismo [véase Neuendorf et ál., 2005, p. 478]). En general, el material-origen del término pelita o pelítico alude a un sedimento originalmente limo-arcilloso

y, por ende, aluminico (el aluminio estaría concentrado en los minerales de arcilla, a pesar de que granulométricamente pudiera ser tamaño limo). En el sentido más general, una pelita o una roca pelítica es la que se deriva originalmente de un sedimento limo-arcilloso, que bien puede ser limolítico o lutítico (Neuendorf et ál., 2005).

Petrofísica. “Estudio de las propiedades físicas y químicas de las rocas que se relacionan con la distribución de su sistema poral y sus contenidos de hidrocarburos y agua” (Neuendorf et ál., 2005, p. 486). A lo que podemos añadir: los estudios petrofísicos se realizan por medio de registros de pozo y análisis convencionales y especiales hechos a muestras extraídas del mismo, entre las que se incluyen muestras de canal (ripios), muestras de pared (*side-wall cores*), núcleos convencionales y muestras de fluido tomadas durante la perforación y secciones preservadas de los núcleos convencionales. Podría decirse, desde el punto de vista del negocio petrolero, que la evaluación petrofísica es uno de los aspectos más importantes que tiene un pozo.

Petrografía. Disciplina de la Petrología que se encarga de estudiar y describir las rocas por medio del microscopio petrográfico. Debido a su complejidad, se podría decir que está dividida en petrografía de rocas sedimentarias, petrografía de rocas ígneas y petrografía de rocas metamórficas. Los aspectos a describir en la petrografía sedimentaria incluyen: las particularidades mineralógicas o composicionales; la correcta identificación de qué tipos de rocas pueden estar representados en los fragmentos líticos presentes (si los hay); la identificación de las fracciones clásticas, aloquímicas y ortoquímicas (p. ej., cemento[s]); la descripción de cómo es la porosidad presente, cómo se formó-evolucionó y qué tipo de gargantas de poro pudieran existir (normalmente esto se refuerza con microscopía electrónica de barrido), y el tipo petrográfico de la muestra y toda aquella información útil que pueda extraerse para orientar el mejor aprovechamiento del yacimiento. Es una disciplina extremadamente importante en el proceso de caracterización de los yacimientos, ya que las descripciones visuales muchas veces son engañosas o carecen de la precisión adecuada para reconocer la composición diagnóstica y textura verdadera de la muestra. La petrografía es por lo general un aspecto fundamental para reforzar o mejorar la evaluación petrofísica (en cierto tipo de yacimientos complicados, es poco menos que indispensable).

Planicie de inundación. Llanura adyacente al cauce o valle de los ríos que se inunda en épocas de grandes lluvias por el desbordamiento y que se llena de vegetación rala en las épocas de sequía. Sobre esta planicie se desarrollan los “abanicos de rotura” de los cauces principales, que eventualmente la cortan distributarios efímeros. Los depósitos principales de estas planicies son los lodos de inundación, que no suelen tener estructuras internas y tienen un muy mal escogimiento; en general, son una litología arcilítica con arena y grava suspendida por matriz, con abundante bioturbación de raíces de plantas y eventualmente de otras especies terrestres de animales, incluyendo los insectos. En este tipo de material es en el que se han encontrado la mayoría de dinosaurios y en el que en todas las épocas están los mejores yacimientos de huesos. Están asociados también a mantos carbonosos, madera fósil y depósitos lagunares/pantanos.

Plancton. Está constituido por organismos vegetales (fitoplancton) o animales (zooplancton). Por definición, el plancton está constituido por microorganismos, como los antes mencionados, que flotan en las aguas marinas y lagos, es decir, no tienen capacidad de locomoción importante (véase Neuendorf et ál., 2005, p. 497) (los peces, por ejemplo, constituyen parte del *nekton* o de organismos que son capaces de nadar-trasladarse en el agua). Los organismos que viven sésiles en el fondo constituyen el *benthos*.

Porcelanita. Este término fue acuñado originalmente para referirse a una roca silíceo producto del metamorfismo térmico producido por la combustión de un manto de carbón en el subsuelo (Bates y Jackson, 1980, p. 491; Neuendorf et ál., p. 508). Este tipo de litologías se han reportado a lo largo del mundo, ya que la combustión del carbón (posiblemente producto de un rayo o a

partir de la combustión espontánea de gases inflamables) es un fenómeno bastante frecuente en la naturaleza (véase Stracher, 2007); en Perijá, por ejemplo, fueron reportados “magmas” por fusión de roca sedimentaria en contacto con carbones que se encendieron naturalmente en el pasado remoto (véase, p. ej., Motiscka, 1977, 1978). Definitivamente, usar el término de porcelanita para cualquier otro tipo de roca que no tenga esta génesis induce a una gran confusión; incluso, la “porcelana” que no es brillante se alcanza a obtener también en hornos de cerámica, y el hecho de que una lodolita silícea se le parezca no quiere decir que se deba validar el empleo del término para una roca sedimentaria, como las del yacimiento de Elk Hills en California (véase Taliaferro, 1934; Bramlette, 1946, citados en Behl, 1999). En Colombia se ha empleado el mismo término de “porcelanita” para las lodolitas silíceas oscuras de la Formación Guadalupe, en algunas localidades del Valle Medio del Magdalena: terminología que el autor propone eliminar en el caso específico de la formación citada.

Protolito. Roca-origen o material-origen premetamórfica(o). En algunos casos su definición es aproximada-composicional (p. ej., “el protolito de los esquistos de la Formación Tacagua es de rocas pelíticas interstratificadas con capas de cenizas volcánicas de afinidad intermedia o andesítica”).

Psammita. De manera análoga a las pelitas, están las psammitas, que se asocian a las rocas del grupo de las areniscas. Se ha dicho tradicionalmente que la roca metamórfica de una arenisca es la cuarcita; lo que es válido siempre y cuando el metamorfismo sea isoquímico de bajo grado y el protolito sea de areniscas cuarzosas muy limpias y puras, sumado a una deformación también baja. Si las areniscas son muy impuras, las reacciones de fluidos con minerales lábiles diferentes al cuarzo pueden acarrear una composición mineralógica-metamórfica y hasta textural importante cuando hay participación significativa de la presión dirigida compresionalmente en la perpendicular al esfuerzo dirigido por la gravedad. De las areniscas “impuras” se pueden obtener rocas metamórficas muy diferentes a las cuarcitas, incluso, la deformación extrema puede mezclar diferentes tipos litológicos y producir una sola roca foliada en ángulo con la estratificación original; de aquí que la deducción de la composición y tipo del protolito está sujeta a muchas interpretaciones petrográficas, de fases minerales determinadas por difracción de rayos-X y de composición química de muestreos específicos, así como de integración de la geología regional y modelos geotectónicos.

Psephita. No ocurre frecuentemente, pero hay interpretaciones que adjudican protolitos a conglomerados (psephitas) previos al metamorfismo. La mayoría trata de justificarlos texturalmente, ya que composicionalmente podrían ser idénticos a otros tipos de roca. Los conceptos dichos en pelitas y psammitas son igualmente válidos aquí.

Radiolario. Organismo del zooplancton marino. Su caparazón no es de carbonato, sino de sílice. Pueden encontrarse en cualquier ambiente nerítico (marino); pero la mayor abundancia en los sedimentos parece estar asociada a los ambientes marinos profundos, cuando el límite de compensación de la calcita (LCC) no permite la preservación de los caparazones de plancton calcáreo. Se les ha atribuido “abundancias importantes” (número de individuos por gramo de sedimento; véase p. ej., Lisitzin, 1972) cuando las aguas del mar se enriquecen con ceniza volcánica muy fina, que rápidamente se meteoriza o altera en el agua, lo que aumenta la actividad del ácido tetra-silícico (forma que tradicionalmente se considera que es la que adopta la sílice disuelta en el agua [véase, p. ej., Krauskopf, 1959]); también se le ha atribuido la “explosión” de radiolarios a fenómenos en los mares del pasado (ej: aumento del contenido de fosfatos), que bien no pudieran ser exactamente las que se observan en la actualidad y que controlan el delicado equilibrio de la vida en los mares. Hay rocas del mar profundo que están casi exclusivamente constituidas por caparazones de radiolarios: radiolaritas; también las hay de diatomeas abundantes: “diatomitas”; pero estos tipos extremos son muy raros y lo más frecuente es encontrar radiolarios en lodolitas silíceas (p. ej.,

Cretácico Tardío en Suramérica) y a las diatomeas (p. ej., Mioceno de la Formación Monterrey, California), así como en lodolitas silíceas; no es raro encontrar estas rocas con parte de caparazones de plancton calcáreo, porque no siempre se logra disolver todo este material y tampoco el LCC es el único responsable de la disolución del carbonato en la diagénesis temprana.

Roca competente/incompetente. “Es un volumen de roca, el cual, bajo un conjunto de condiciones específicas, es capaz de soportar una fuerza tectónica. Tal volumen puede ser competente o incompetente en repetidas ocasiones durante su historia deformacional, dependiendo de las condiciones del ambiente, grado y duración del fracturamiento, etc.” (Neuendorf et ál., p. 131). A lo que se puede añadir: cuando una roca es competente se dice que es frágil y, en el dominio de las rocas sedimentarias, más fracturable que las rocas de grano fino pelíticas-arcillosas, que tienden a ser más plásticas y absorben los esfuerzos con deformación (incompetentes). Esta división es muy general y cualitativa y se emplea en general para diferenciar las areniscas y calizas de las arcilitas, lutitas y afines. No obstante, una roca pelítica muy compactada y cementada puede comportarse como una litología competente en algunos casos y susceptible de fracturamiento artificial (lo que ocurre en algunos yacimientos de gas en Norteamérica, por ejemplo).

Roca metasedimentaria. Roca sedimentaria que ha sufrido metamorfismo.

Sericita. Muscovita de grano fino. Se define así específicamente cuando la roca que la contiene no presenta cristales grandes, sino de 1 mm o menos. Es común en descripciones de campo y petrográficas leer: “filita sericítica”, “pizarra sericítica”, “sustitución de feldespatos por sericita”, etc. Muchas veces este grano fino de la muscovita es el preámbulo de su alteración a hidromuscovita o illita.

Smectita. Mineral de arcilla (filosilicato) que se caracteriza por adsorber mucha agua, lo que aumenta considerablemente su volumen. Se presenta en los sedimentos que tienen zonas volcánicas cercanas o se nutren de fuentes ígneas de composición intermedia o máfica; son frecuentes, por ejemplo, al lado de cadenas de montañas (como los Andes, Cordillera Central) y menos frecuentes al lado de montañas conformadas principalmente por rocas sedimentarias (cinturones de corrimiento, como la Serranía Oriental). No es un tipo específico y su grupo de minerales asociados puede ser muy grande; entre ellos se cuentan la montmorillonita, la vermiculita, la nontronita, la beidellyita y otras variedades. La bentonita, por ejemplo, es una litología (no un mineral, como tampoco lo es la bentonita comercial) que consiste en un manto rico en ceniza volcánica, de gran extensión, especialmente preservado bajo el agua y rico en smectita (especialmente nontronita, que es una smectita con hierro). La smectita es muy inestable durante el soterramiento (véase, p. ej., Hower et ál., 1976; Weaver, 1989).

Tetraedro estadístico. Cuando se desea clasificar una roca de cuatro componentes, se emplean los tetraedros estadísticos. Tiene los mismos principios de límites de proporción o composición de uno de los extremos de los triángulos, pero visualizados en el espacio del tetraedro.

Triángulo estadístico. Triángulo equilátero cuyos tres vértices representan tres componentes (por ejemplo, Q = cuarzo, F = feldespatos, L = fragmentos líticos); la proporción de cada uno es una línea paralela al lado opuesto del vértice del componente. Cada punto en su interior representa una composición donde los tres componentes suman 100 % (que es la intersección de tres rectas paralelas a los lados opuestos de los vértices), por eso no se pueden usar directamente los tres componentes, que en la realidad suman menos de 100 % en una roca multicomponente, y es necesario recalcular a 100 % los tres componentes originales. Al dividir sectores internos del triángulo en diferentes nombres, cada área representa todas las composiciones posibles (en realidad, proporciones) que puede tener un nombre asignado. Los triángulos estadísticos son extremadamente útiles para representar en dos dimensiones el comportamiento composicional de un juego de muestras, por ejemplo. Si existe un cuarto componente para considerar, se emplea el tetraedro estadístico.

En este caso, los cuatro componentes suman 100 %; pero los cuatro lados del tetraedro son, a su vez, las posibles proporciones de tres componentes con respecto al vértice (componente) opuesto de cada triángulo estadístico. Comercialmente, se venden triángulos estadísticos previamente subdivididos para facilitar la proyección composicional, que actúan de manera análoga o similar al papel milimetrado.

Varvas. Los sedimentos rítmicos de alta frecuencia (geológicamente hablando) suelen pertenecer al ambiente lacustre. Por ejemplo, en invierno, un régimen hídrico y de temperatura impera con el consecuente sedimento fino que se deposita en el centro del lago (deposita una “lámina” de características XYZ); por su parte, en el verano impera otro régimen, con menos agua de los ríos que llegan al lago y menos sedimento en suspensión (se deposita una lámina de espesor, composición y color diferente a la de invierno, de características PQR). A medida que pasan los años, si el lago se mantiene estable, habrá, en teoría, un par de láminas de verano-invierno por cada año, así que por miles de años habrá miles de pares de láminas, y si los sedimentos logran preservarse, estos serán una roca laminada casi a la perfección; a este aspecto laminado se le llama varvado y cada lámina se le denominará varva (la etimología de la palabra viene del sueco *varv* ‘lámina o capa’ [véase Neuendorf et ál., 2005, p. 703]).

REFERENCIAS

- Bayly, B. (1968). *Introduction to petrology* (1ª edición). Englewood Cliffs, EE. UU.: Prentice-Hall.
- Bates, R., y Jackson, J. (1980) *Glossary of geology*. (2ª edición). Virginia, EE. UU.: American Geological Institute.
- Behl, R. (1999). The Monterrey Formation: the source of oil. En E. Moores, D. Sloan y D. Stout (Eds.), *Classic Cordilleran Concepts: A View from California* (pp. 274-299). EE. UU.: The Geological Society of America.
- Bramlette, M. (1946). The Monterey Formation of California and the origin of its siliceous rocks. En E. Moores, D. Sloan y D. Stout (Eds.), *Classic cordilleran concepts: a view from California*. EE. UU. *The Geological Society of America*.
- Cook, H., Field, M., y Gardner, J. (1998). Characteristics of Sediments on Modern and Ancient Continental slopes. En P. Scholle y D. Spearing, D. (Eds.), *Sandstone Depositional Environments* (pp. 329-364). EE. UU.: American Association of Petroleum Geologists.
- Chedid, R., Abreu, A., y Yoris, F. (2000). Detecting non-drained sand bodies in a mature oil field, Tía Juana, Zulia State, Venezuela. En *16th World Petroleum Congress*. Congreso realizado en Calgary, Alberta, Canada.
- Chedid, R., Abreu, A., y Yoris, F. (1999). Increasing oil production in a mature oil field by using a model within a multidisciplinary concept in the Bolivar Coastal Field, Venezuela. En *CSPG & Petroleum Society Joint Convention*. Convención realizada en Calgary, Alberta, Canada.
- Dana, J., y Hurlbut, C. (1960). *Manual de mineralogía* (2ª edición). Barcelona: Editorial Reverté.
- Dunham, R. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En W. Ham (Ed.), *Classification of carbonate rocks* (pp. 108-121). EE. UU.: American Association of Petroleum Geologists.
- Emery, D., y Myers, K. (1997). *Sequence stratigraphy*. Oxford: Blackwell Science Ltd.

- Engelhardt, W. (1967). Neue Beobachtungen im Nördlingen Ries [New investigations in the Nordlinger Ries]. *Geologische Rundschau*, 57(1), 165-188.
- Flawn, P. (1953). Petrographic classification of argillaceous sedimentary and low-grade metamorphic rocks in subsurface. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 37, 560-565.
- Folk, R. (1959). Practical petrographic classification of limestones. *American Association of Petroleum Geologists*, 43(1), 1-38.
- Grabau, A. (1904). On the classification of sedimentary rocks. *American Geology*, 33, 228-247.
- Heinrich, E. (1970). *Identificación microscópica de los minerales* (1ª edición). Bilbao, España: Ediciones URMO.
- Holditch, S. (2006). Tight Gas Sands. *Journal of Petroleum Engineers*, 58(06), 84-90.
- Hower, J., Eslinger, E., Hower, M., y Perry, E. (1976). Mechanism of burial metamorphism of argillaceous sediment: 1. Mineralogical and chemical evidence. *Geological Society of America Bulletin*, 87, 725-737.
- Krauskopf, K. (1959) The geochemistry of silica in sedimentary environments. En A. Ireland (Ed.), *Silica in sediments* (pp. 4-19). EE. UU.: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special.
- Lapedes, D. (1978). *Enciclopedia of Geological Sciences* (2ª edición). Filipinas: McGraw-Hill Book Co.
- Lisitzin, A. P. (1972). *Sedimentation in the world ocean*. EE. UU.: Society of Economic Paleontologists and Mineralogist.
- Lopez, E., Chedid, R., Romero, D., Perez, C., Yoris, F., Hevia, A., y Lopez, C. (1998). Applications of Seismic and field data to detect areas non reached by steam. En *III Jornadas sobre Caracterización de Yacimientos*. Encuentro realizado en Puerto La Cruz, Venezuela.
- Marcucci, E. (1976). Las ftanitas del Cretáceo superior de Venezuela occidental y oriental: tipo, origen, ambiente de formación y cambios diagenéticos. *II Congreso Latinoamericano de Geología, Boletín de Geología*, 7(2), 1277-1308.
- McKee, E., y Weir, G. (1953) Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks. *Geology Society of America*, 64, 381-389.
- Milliman, J. (1974) *Marine carbonates* (1ª edición). Berlín: Springer-Verlag.
- Millot, G. (1970) *Geology of clays* (1ª edición). Nueva York: Springer-Verlag.
- Motиска, P. (1977). Generación de magmas y autometamorfismo por combustión subterránea de carbones y de limolitas carbonosas en la Formación Marcelina, Perijá. *V Congreso Geológico Venezolano, Memoria*, 2, 663-691.
- Motиска, P. (1978) Generación de magmas y autometamorfismo por combustión subterránea de carbones y de li molitas carbonosas en la Formación Marcelina, Perijá. *Boletín de Geología*, 13(24), 183-217.
- Neuendorf, K., Mehl, J., y Jackson, J. (Eds.). (2005). *Glossary of Geology* (5ª edición). EE. UU.: American Geological Institute.

- Nilsen, T. (1998). Alluvial fan deposits. En P. Scholle y D. Spearing (Eds.), *Sandstone Depositional Environments* (pp. 49-86). EE. UU.: *American Association of Petroleum Geologists*.
- Ostos, M. (1992). Tectonic evolution of the south-central Caribbean based on geochemical data. *Geos*, 30, 1-294.
- Palache, Ch., Berman, H., y Frondel, C. (1944). Dana's system of mineralogy (7ª edición, vol. III). New York: John Wiley & Sons.
- Pettijohn, F. (1970). *Rocas Sedimentarias* (2ª edición en español). Buenos Aires: Editorial Universitaria.
- Pettijohn, F., Potter, P., y Siever, R. (1973). *Sand and sandstone*. (1ª edición) Berlín: Springer-Verlag.
- Shaw R., Coughlan K., y Bell, L. (1998). *Root zone sodicity*. En M. Sumner y R. Naidu (eds.) *Sodic soils: Distribution, properties, management, and environmental consequences* (pp. 95-106). New York: Oxford University Press.
- Stracher, G. (Ed.) (1999). *Geology of Coal Fires: Cases Studies from Around the World*. EE. UU.: *The Geological Society of America*.
- Taliaferro, N. (1934). Contraction Phenomena in Cherts. *Bulletin of the Geological Society of America*, 45, 189-232.
- Van Wagoner, J., Mitchum, R., Campion, K., y Rahmanian, V. (1990). *Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies*. EE. UU.: American Association of Petroleum Geologists.
- Weaver, Ch. (1989). *Clays, muds and shales* (1ª edición). Amsterdam: Elsevier.
- Wentworth, C. (1922). A field study of the shape of river pebbles. *US Geological Survey Bulletin*, 730-C, 103-114.
- Winkler, H.G. (1976). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks* (1ª edición). Berlín: Springer-Verlag.
- Yoris, F.G. (2013). ¿Yacimientos “no-convencionales” o “no-tradicionales”? , ¿ o ambos...? En *XIV Congreso Colombiano de Geología/Primer Simposio de Exploradores*. Congreso - Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Yoris, F. (1984a). *Revisión de la estratigrafía del Cretáceo inferior en la franja San Antonio de Maturín-Aragua de Maturín-Caripito-Bolvita (Edos. Monagas y Sucre) y análisis petrográfico-estadístico de areniscas al oeste del Río San Juan* (tesis de maestría). Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Yoris, F. (1984b). Clasificación de las formas de sílice policristalina. En *XXXIV Convención Anual de ASOVAC*. Convención realizada en Venezuela.