

IDEAS ACTUALES SOBRE LA GENESIS DEL PETROLEO (1)

MANUEL ALVAREZ, JR. (2)

Para juzgar las posibilidades petrolíferas de una región dada en la cual no se hayan encontrado todavía acumulaciones comerciales, o cuando menos manifestaciones de hidrocarburos líquidos, es conveniente tener presente las condiciones necesarias para que puedan existir esas acumulaciones. Estas son: 1) sedimentos, relativamente ricos en materia orgánica, depositados en un ambiente reductor marino; 2) capas con suficiente porosidad y permeabilidad para almacenar hidrocarburos, y 3) trampas que detengan a esos hidrocarburos en su migración.

Generalmente se suelen investigar la segunda y tercera condiciones, descuidándose la primera, lo cual no es necesario hacer cuando existen numerosas manifestaciones superficiales de hidrocarburos líquidos que implican la existencia de esa primera condición; pero sí lo es cuando estas manifestaciones no existen, pues será inútil localizar y perforar en estructuras u otras trampas que se consideren favorables si no existen en la región sedimentos en los cuales se haya podido generar petróleo.

ANTECEDENTES

El Instituto Americano de Petróleo, reconociendo la necesidad de datos cuantitativos sobre los componentes orgánicos de los sedimentos, inició un estudio de las capas madres en 1926. La primera fase de la investigación fue el estudio de las condiciones bajo las cuales se está acumulando actualmente el material orgánico bajo el mar en depósitos que parecen ser semejantes a aquéllos en los cuales se generó petróleo en el pasado. Este estudio de los sedimentos recientes se llevó a cabo durante cinco años y los resultados de esta investigación se publicaron en 1932. A continuación del estudio de los sedimentos recientes se inició la investigación de los sedimentos antiguos. En 1931 el Servicio Geológico se unió al Instituto Americano de Petróleo para patrocinar este estudio, y desde

(1) Original recibido en enero de 1960.

(2) Vocal Geólogo: Instituto Nacional de la Investigación Científica.

entonces estos dos organismos han cooperado en la investigación de las capas madres.

En 1942 se publicó el resultado de los estudios de esta cooperación cuyo principal objeto fue la determinación de criterios diagnósticos para el reconocimiento de capas madres. La investigación se tuvo que hacer bajo la base de asumir qué clase de rocas generaron petróleo, con la esperanza de que todas las indicaciones de su capacidad como capas madres no se hubieran perdido durante el proceso de la generación del petróleo. Por lo tanto se hizo el supuesto básico de que los sedimentos estratigráficamente cercanos a las zonas petroleras conocidas son, en general, mejores capas madres que los alejados de dichas zonas.

La validez de este supuesto es incuestionable, porque es obvio que entre mayor distancia migre el petróleo habrá mayores probabilidades de que encuentre algún obstáculo a su progreso; esto es, que las probabilidades favorecen a una migración corta.

El método para abordar el programa fue la determinación de varias propiedades de las muestras individuales de sedimentos de muchos campos petroleros en la mayor parte de las regiones productoras de petróleo en los Estados Unidos, para averiguar si algunas de estas propiedades estaba o no relacionada con la distancia de los sedimentos a las zonas petroleras conocidas. Si se encontraban diferencias consistentes para las propiedades individuales de los grupos de sedimentos de varias regiones, se llegaría a la conclusión de que tales propiedades estaban relacionadas con la generación de petróleo.

Se examinaron 35 000 muestras, de las cuales 32 000 fueron de pozos y 3 000 de afloramientos. Se estudiaron 7 provincias petrolíferas: California con 14 000 muestras, las Rocallosas con 6 000 muestras, el Mid-Continent con 6 000 muestras, el Oeste de Texas con 500 muestras, la Cuenca de East Texas con 3 500, la Costa del Golfo con 2 000 muestras y el área de los Apalaches con 3 000 muestras.

Se investigaron ocho propiedades de los sedimentos con respecto a su relación con el acrecimiento del petróleo: 1) cantidad de materia orgánica; 2) color de los sedimentos; 3) el número de reducción, o sea una medida de la cantidad de ácido crómico que los sedimentos pueden reducir; 4) la volatilidad; 5) la volatilidad relativa, o sea el cociente de la volatilidad al número de reducción; 6) el cociente del carbón al hidrógeno; 7) la relación del número de reducción al contenido de carbón; y 8) el cociente nitrógeno/reducción, o sea la relación del contenido de nitrógeno al número de reducción. El cociente nitrógeno/reducción es la única de estas ocho propiedades que es materialmente diferente en los sedimentos cercanos a las zonas petroleras. Consecuentemente es de presumirse que constituye el mejor índice de las capas madres encontrado en el curso de la investigación.

El cociente nitrógeno/reducción varía principalmente entre 3 y 10. Las formaciones geológicas en las cuales el promedio del cociente es menor que 5, pueden considerarse como definitivamente favorables para encontrar petróleo, aquéllas en las cuales es 6 son prometedoras, aquéllas en las que es 7 no son particularmente prometedoras y aquéllas en las que es más de 8 son definitivamente desfavorables. El cociente es tan variable en las muestras de afloramientos que es muy poco prometedor como índice de rocas madres; consecuentemente debe restringirse a las muestras de pozos.

IDEAS ACTUALES

Prácticamente todas las investigaciones actuales sobre el origen del petróleo están orientadas por las condiciones limitantes ampliamente aceptadas, basadas en un rico acervo de observaciones de campo efectuadas por los geólogos, y que se conocen como la Cerca de Cox.

Con excepción de ciertas áreas estériles relativamente restringidas, el mar mantiene una tremenda población compleja de flora y fauna. Al morir estos organismos sus restos caen al fondo y son incorporados a los sedimentos. Si en el área hay corrientes activas en el fondo, las partículas finas serán removidas dejando un fondo arenoso o de partículas grandes, por las cuales pueden circular libremente las aguas portadoras de oxígeno. El material orgánico depositado en tal ambiente es rápidamente destruido por las bacterias aeróbicas que elaboran bióxido de carbono y agua. Si las aguas del fondo son tranquilas, pueden acumularse sedimentos lodosos, y la materia orgánica atrapada puede conservarse cuando menos parcialmente.

En general, el contenido de oxígeno libre del agua desciende a medida que se aproxima a un fondo rico en materia orgánica y prácticamente desaparece en las capas más superficiales de los lodos. Sin embargo, no son esenciales para la acumulación del material orgánico las condiciones de estancamiento completo.

La disminución en el contenido de oxígeno y por lo tanto el valor del potencial Eh que se observa al pasar del agua del fondo a un lodo rico en materia orgánica es principalmente el resultado de la acción de las bacterias. Si el fondo está estancado y es elevado el contenido orgánico, se observarán valores de cero o aún menores para Eh en las capas superiores; para sedimentos menos ricos pueden persistir a varios metros de profundidad valores bajos positivos. Con la desaparición de los aeróbicos en la porción más alta de los lodos del fondo, se presenta una nueva y prolífica flora de organismos que pueden vivir tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas que varía mucho con el tipo de sedimento, la proximidad a tierra, la profundidad del agua y otros factores. El enorme número de bacterias en las zonas superiores de los sedimentos

implica su acción sobre los detritos orgánicos atrapados. Probablemente parte de ellos es destruida y posiblemente mucha de ellos es muy alterada.

Una reacción importante que tiene lugar en lodos ricos en materia orgánica, es la reducción del ion sulfato a sulfuro, ocasionada por la actividad de la *Desulfovibrio*, una estricta anaeróbica, que está distribuida ampliamente en el mar y que utiliza el oxígeno en el ion sulfato para extraer el hidrógeno en sus reacciones productoras de energía y producir sulfídrico. Con la generación de sulfídrico el Eh baja constantemente hasta estabilizarse, generalmente entre los -200 a los -500 mv. A menos que más tarde los sedimentos estén expuestos a las aguas que llevan oxígeno o a la atmósfera, esta condición de reducción persiste a través de los procesos de compactación y litificación definitiva de los sedimentos. La conservación de un Eh bajo es de capital importancia, no sólo para evitar la temprana destrucción por oxidación de la materia orgánica sino probablemente también para provocar la conversión reductiva de los restos orgánicos a hidrocarburos.

Como resultado del trabajo pionero de Trask se tenía la impresión de que la génesis del petróleo debería ocurrir a profundidad y probablemente por medio de un mecanismo térmico o catalítico, puesto que no se habían encontrado hidrocarburos líquidos en sedimentos recientemente depositados.

Años más tarde Whitmore señaló que todos los organismos vivientes contienen hidrocarburos como parte de su composición química. Algunos de éstos, tales como parafinas y naftenos, podría esperarse que sobrevivieran en los restos orgánicos como resultado de su estabilidad química y que contribuirían al petróleo que finalmente se formara. Esta tesis recibió mayor ímpetu con el anuncio de Smith, de que había aislado hidrocarburos de sedimentos recientes, en cantidades variables de 9 a cerca de 12 000 partes por millón de muestras secas, por medio de métodos cromatográficos, obteniendo fracciones parafínicas, nafténicas y aromáticas cuyo peso molecular medio oscilaba entre 250 y 300. Se demostró que las fracciones de hidrocarburos eran de origen reciente mediante la determinación de su edad por medio del carbón catorce.

Sin embargo, recientemente Steven y Evans, al analizar por medio del espectrógrafo de masa las fracciones parafínicas normales, encontraron que claramente predominaban las moléculas que contenían un número non de átomos de carbón, en tanto que los hidrocarburos de pesos atómicos comparables aislados de petróleos crudos no exhiben tal preferencia. De todo ello se concluye que los hidrocarburos constituyen un componente normal de los sedimentos recientes, pero que los compuestos faltantes del petróleo deben generarse a una mayor profundidad a partir de otras fuentes que la de los hidrocarburos generados en las capas superficiales de los fondos marinos.

Analizando las posibles fuentes de hidrocarburos puede concluirse que la contribución de las proteínas y carbohidratos a los sedimentos marinos es muy pequeña en vista de la naturaleza labil de estos compuestos; la contribución principal a las lutitas pueden ser, de hecho, de origen terrestre, esto es, substancias húmicas derivadas de la lignina. Tales substancias son potencialmente muy poco probables como generadoras de petróleo, lo que explicaría el porqué algunas lutitas de alto contenido orgánico no son importantes capas madres.

Los contribuyentes más probables a la formación del petróleo crudo son los ácidos grasos y substancias con ellos relacionadas. La degradación biológica inicial y las reacciones asociadas pueden convertir tales substancias en compuestos acíclicos, y aún, al deshidrogenarse, en substancias aromáticas. Las numerosas posibilidades inherentes a la interreacción de diversos compuestos saturados y no saturados fácilmente pueden llevar a una mezcla compleja de estructuras tales como las que se encuentran en el petróleo crudo. Debe tenerse presente que las moléculas de los ácidos grasos y los alcoholes contienen, con raras excepciones, un número par de átomos de carbón y que por lo tanto pueden constituir los compuestos faltantes para la formación del petróleo.

BIBLIOGRAFIA

- BEERSTECHEER, E., Jr., 1954. *Petroleum Microbiology*, Elsevir Press, New York.
- BREGHT, IRVING A., 1959. Origin of Petroleum, Reprints of the papers of the *General Petroleum Geochemical Symposium*, pp. 77-88, Fordham University, New York.
- HANSON, W. E., 1959. Some Chemical Aspects of Petroleum Genesis, *Researches in Geochemistry*, pp. 104-117, John Wiley and Sons Inc. New York.
- SMITH, P. V., Jr., 1952. The occurrence of hydrocarbons in recent sediments from the Gulf of Mexico, *Science*, 116, 437.
- SMITH, P. V., Jr., 1954. Studies on origin of petroleum: occurrence of hydrocarbons in recent sediments, *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 38, 377.
- STEVENS, N. P., E. E. BRAY and E. D. EVANS, 1956. Hydrocarbons in sediments of the Gulf of Mexico, *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 40, 975.
- TRASK, P. D., 1932. *Origin and Environment of Source Sediments of Petroleum*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
- TRASK, P. D., and H. W. PATNODE, 1942. *Source Beds of Petroleum*, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Tulsa, Oklahoma.
- WHITMORE, F. C., *Fundamental Research on Occurrence and Recovery of Petroleum*, p. 124, American Petroleum Institute, New York.
- WHITMORE, F. C. and T. S. OAKWOOD. 1944-1945. *Fundamental Research on Occurrence and Recovery of Petroleum*, p. 99, American Petroleum Institute, New York.
- ZOBELL, C. E. 1944. *Fourth Quarterly Report, Researchs Project 43A*, American Petroleum Institute, New York.
- ZOBELL, C. E. 1946. *Marine Microbiology*, Chromica Botánica Company, Waltham, Mass.