

LAS MIGRACIONES

Introducción-definiciones.

Son todos los desplazamientos de los hidrocarburos, en el interior de la corteza terrestre.

El problema de las migraciones, es sin duda el más vasto y el más complejo de toda la Geología petrolífera, debe ser considerado con numerosos factores, muy diferentes entre sí:

1. El origen mismo de los hidrocarburos, la mayor parte de las hipótesis emitidas, se apoya en la noción del origen orgánico de los petróleos, formados en un sedimento fino, la roca-madre.
2. Las características físico-químicas de los petróleos en el interior de los terrenos.
3. La litología de las rocas-almacén y rocas asociadas, sean diferentes en una serie calcárea recifal, en una serie detrítica deltaica o en una serie más regular que presente horizontes-almacén relativamente continuos y homogéneos en grandes superficies.
4. El tipo y naturaleza de la trampa, donde se reúne el petróleo.
5. Debe ser conocida toda la historia geológica de la cuenca sedimentaria, desde su formación hasta la época actual.

Un yacimiento de petróleo, es el resultado de un equilibrio, a menudo precario, entre diversos elementos (litología, estructura, físico-química de los fluidos, temperaturas, presiones, clima antiguo), que se han modificado diversas veces a lo largo del tiempo.

Desde la época en que se depósito la materia orgánica, la cuenca ha sido teatro de diversos cambios, que han provocado modificaciones de posición de las zonas altas, y por tanto de los gradientes de presión, principales responsables de los equilibrios agua-hidrocarburos en los almacenes.

La exploración petrolífera se facilitaría grandemente, si se pudiera conocer "a priori" en cada cuenca sedimentaria:

1. Dónde se ha formado el petróleo, en qué época y en qué medio, correspondiente a qué tipo de formación identificable. Es el problema de las rocas-madre.

2. En qué época y en qué condiciones, los hidrocarburos han abandonado la roca madre y han emigrado hacia los puntos de acumulación para formar los yacimientos. Es el problema de los mecanismos de migración.

Evidencia del desplazamiento de los hidrocarburos.

La migración, está puesta en evidencia, por varios fenómenos:

- La existencia misma de los yacimientos, donde la acumulación de los hidrocarburos, es resultado necesariamente, del drenaje de un volumen de sedimentos muy superior al volumen actualmente impregnado.
- La existencia de los indicios superficiales, constantemente alimentados y renovados por una circulación subterránea.
- Los movimientos de los fluidos en los campos en explotación, que son en cierta medida, una migración provocada artificialmente.

Algunas definiciones:

- Conmigración: Desplazamientos que conducen más o menos rápida y directamente a la formación de un yacimiento por acumulación y segregación en una trampa.
- Dismigración: Desplazamientos hacia la superficie, conducentes a la formación de indicios superficiales, y después a la destrucción más o menos completa de los hidrocarburos por los agentes atmosféricos.

En la con migración, se distingue también:

- a) Migración primaria, movimientos de los fluidos de la roca madre hacia la roca almacén.
- b) Migración secundaria, desplazamientos de los hidrocarburos en el interior de los horizontes permeables de una serie estratigráfica, hacia las trampas donde se produce la acumulación.

Se distingue en los movimientos de los hidrocarburos, dos tipos de migración:

- La migración lateral.
- La migración vertical, puede ser:
 - a) Per ascensum- si el paso se realiza hacia una formación más joven.
 - b) Per descensum- el caso contrario.

LOS MECANISMOS DE LA MIGRACION

Las hipótesis, están apoyadas en experimentos que intentan reproducir las condiciones del medio, según lo que se puede observar del comportamiento de los fluidos en los yacimientos actuales, en curso de explotación.

Se han logrado poner en evidencia varios posibles mecanismos. Algunos actúan sobre el conjunto de los fluidos, agua, petróleo y gas, contenidos en los terrenos; otros actúan principalmente sobre los hidrocarburos tendiendo a separarlos del agua y aislarlos en una trampa. Los primeros, parecen tener acción primordial en la migración primaria, mientras que los segundos, parecen tenerla en la migración secundaria y la acumulación en los yacimientos.

Lo más frecuente, es que haya una superposición e interacción constantes de los diversos agentes de migración.

Algunas observaciones fundamentales y experimentos básicos, conducen junto a consideraciones de mecánica de fluidos, a considerar los siguientes factores:

1. Diferencias entre las características físicas de los fluidos, agua y petróleo, contenidos en las rocas. Interacción de estas características y de las propiedades físicas de las rocas.

Se obtienen movimientos diferenciales agua-petróleo:

- Diferencias de densidad entre el agua y el petróleo que originan la aparición de fuerzas de gravedad, que tienden a separar los dos fluidos.
- Fuerzas de tensión superficial e interfacial, que introducen en el medio poroso, presiones diferenciales.

2. Fenómenos que actúan sobre el conjunto de los fluidos, que crean desplazamientos en masa, entre zonas de alta y baja presión.

- Compactación de los sedimentos.
- Subsistencia. Uno y otro, expulsan los fluidos de los sedimentos finos compresibles, hacia los sedimentos más gruesos, donde reinan presiones interiores.
- c) Infiltraciones en los afloramientos, introducen igualmente movimientos en el manto acuífero, pero más tardíamente.

3. Mecanismos ajenos.

- Presencia de gas disuelto.
- Cementación de las rocas-almacén.

Experimento de Van Tuyl y Beckstrom.

Ponen en evidencia el papel jugado por la compresión y compactación de los sedimentos y las fuerzas de tensión superficial, en los primeros estadios de la migración:

En un cilindro de acero, se disponen sucesivamente de abajo hacia arriba, una capa de arena gruesa, embebida de agua, una capa de arcilla impregnada de una mezcla de petróleo y agua, una segunda capa de arena idéntica a la primera, una segunda capa de arcilla, conteniendo petróleo y agua, y finalmente una capa de arena fina, impregnada de agua.

Todo se comprime progresivamente por un pistón, alcanzando la presión el valor de 85kg/cm^2 al cabo de dos horas y media.

Se observa primero, que una gran cantidad de agua se escapa del cilindro, el conjunto de la carga del cilindro ha perdido una parte importante de su espesor, pero que son principalmente las arcillas las que se han comprimido perdiendo la mayor parte de su contenido de fluidos.

Las arenas de la base y techo, están casi completamente saturadas de petróleo, habiendo sido expulsada el agua que ocupaba primitivamente los poros.

Las arenas del centro, aunque contienen todavía mucha agua, contienen un poco de petróleo, ha habido, pues bajo el efecto de presión, compresión de las arcillas, expulsión de su contenido en fluidos y concentración del petróleo en las arenas.

Haciendo variar la granulometría de las arenas, la densidad del petróleo y las condiciones de temperatura, los experimentos muestran en general:

- El petróleo se acumula preferentemente en las arenas más gruesas que presentan las permeabilidades más elevadas.
- El volumen de petróleo retenido por la arena, es tanto más importante, cuanto mayor sea su densidad. Bajo presiones suficientemente elevadas (140kg/cm^2), actuando sobre una única capa arenosa, un petróleo ligero es evacuado en parte, con el agua, mientras que un petróleo pesado, se queda en la arena.
- Colocando gas carbónico en la base del cilindro, o elevando la temperatura del conjunto, se observa una aceleración notable, en la circulación y segregación de los fluidos.

Los resultados de estos experimentos, ponen en evidencia el papel de los diferentes agentes:

- Compactación de los sedimentos que expulsa los fluidos de las arcillas y crea corrientes.
- Propiedades de superficie de los diferentes fluidos que producen una segregación del petróleo hacia los medios más porosos.
- La presencia de gas y una temperatura elevada, que facilita la circulación de los fluidos.

ENSAYO DE ANALISIS DE LOS PRINCIPALES AGENTES DE LA MIGRACION Y DE LA ACUMULACION

Diferencias de densidad-fuerzas de gravedad:

Se ha podido demostrar, que la fuerza de gravedad, es incapaz por sí sola, de hacer pasar un glóbulo aislado de petróleo, de un poro a otro. Es necesario que se sumen otras fuerzas, para que se produzca el movimiento.

La gravedad no parece, pues, poder intervenir antes de un estadio avanzado de la migración, cuando una fase petróleo, suficientemente voluminosa, se encuentra reunida. La agrupación puede realizarse, bajo el efecto de mecanismos diferentes, tales como el hidrodinamismo o la precipitación local de los hidrocarburos disueltos en el agua, e incluso de las fuerzas de gravedad, siempre que no se apliquen sobre partículas elementales demasiado pequeñas, del tamaño de la molécula, y así sea posible el franqueamiento de los poros más finos.

Se puede pensar, que la fuerza de gravedad, es el motor esencial de la migración secundaria y de la acumulación de los hidrocarburos en las trampas.

Teoría del atrapamiento diferencial (Gussov,1954).

Se ha observado a veces, que las trampas más proximas al borde de la cuenca, aunque regionalmente sean las más altas, no contienen más que agua. Las trampas situadas más bajas, según la pendiente regional, están impregnadas de petróleo y las más próximas al centro de la cuenca, las más bajas estructuralmente, son solamente trampas de gas.

Tensiones interfaciales y segregación de los fluidos:

Los fenómenos relacionados con las presiones diferenciales, que son resultado de las tensiones interfaciales, pueden ser responsables de la segregación de los fluidos, y como consecuencia, de la acumulación de un volumen suficiente de la fase petróleo, para poder ser tan sensible a las fuerzas de gravedad, como a las procedentes del hidrodinamismo.

Los experimentos de Van Tuyl y de Illing, muestran que una mezcla de agua y petróleo o de agua y materia orgánica (protopetróleo mal diferenciado), puede separarse, quedando el petróleo en el medio más poroso, cuando la mezcla de los dos fluidos circula a través de formaciones, que presentan caracteres de porosidad y permeabilidad diferentes. El petróleo se separa del agua y se queda en la roca más porosa.

Hidrodinamismo y trampas estratigráficas:

El hidrodinamismo juega un papel importante en las capacidades de acumulación del petróleo en las trampas estratigráficas del tipo de los acñamientos o de las barreras de permeabilidad.

En condiciones hidrostáticas, el petróleo se acumula normalmente en una trampa de este tipo, bajo la influencia de la gravedad. La capacidad de la trampa, está limitada

por el valor crítico de la presión capilar, que es la presión de desplazamiento, por encima de la cual, la estanqueidad de la barrera de permeabilidad no está asegurada. Importancia del hidrodinamismo:

Igual que la fuerza de gravedad no tiene más que una acción limitada sobre el desplazamiento de un glóbulo de petróleo aislado, parece que las fuerzas desarrolladas por el hidrodinamismo son también insuficientes.

Se llega así a pensar, que sólo la adición de estos diferentes factores, gravedad e hidrodinamismo, es capaz, después de una cierta segregación, de producir un movimiento que obligaría al petróleo a desplazarse de su lugar original, hacia los lugares de acumulación que son las trampas donde reinan las bajas presiones.

Origen del movimiento del agua en los terrenos:

Los gradientes hidrodinámicos, tienen su origen en las diferencias de altitud entre las zonas de alimentación y las zonas de emersión de los mantos subterráneos.

Se sabe además, que el agua puede contener una cantidad, seguramente pequeña pero notable de hidrocarburos en estado de solución o suspensión fina.

El poder de disolución del agua, aumenta con la presión y la temperatura.

Compactación de los sedimentos:

Según Athy (1935), la arcilla, pierde progresivamente una parte de su espesor original, 20% bajo 200 metros de sedimentos, 35% bajo 600 metros y 47% bajo 2,000 metros.

La compactación produce un aumento de densidad y una disminución de la porosidad, debida fundamentalmente a la salida de los fluidos. Una capa de arcilla de 200 metros de potencia, por ejemplo, puede liberar 8 litros de agua por cm² de superficie, bajo, 1500 metros de sedimentos, lo que representa 80 millones de toneladas de agua por km².

Uno de los experimentos de Van Tuyl, trabajando únicamente con una masa arenosa, ha demostrado que una arena con una porosidad original de 42,6%, no sufría ya la menor compactación a partir de una presión del orden 230kg/cm² (correspondiente a algo más de 1,000 metros de profundidad) y conservaba sin embargo aún, una porosidad de 27,5%.

En las series carbonatadas, los arrecifes que representan el tipo de almacén más corriente, son también más resistentes a la compactación, que los sedimentos finos que los envuelven y los rodean. Conservan incluso a gran profundidad, una porosidad importante. Esto, desde luego, sin tener en cuenta los fenómenos de cementación secundaria que acompañan a la diagénesis. Los fluidos expulsados de las arcillas por la compactación, se desplazan hacia las capas no compresionales, que presentan una porosidad suficiente.

Si los horizontes-almacén están completamente embalados en terrenos impermeables, se produce la segregación del petróleo y la formación de un yacimiento, como consecuencia de las fuerzas de tensión.

Los fluidos expulsados por la compactación de los sedimentos, se desplazan hacia las zonas altas, donde reinan presiones menos elevadas, creando así una corriente hidrodinámica dirigida desde el centro de la cuenca hacia los bordes.

Efecto de la subsidencia:

A las fuerzas motivadas por la compactación de los sedimentos, pueden añadirse otras fuerzas orientadas diferentemente, que serían debidas a la subsidencia. El resultado de su acción, es el mismo que de la compactación: expulsan los fluidos de los terrenos compresibles, hacia las zonas de baja presión, creando una corriente hidrodinámica dirigida hacia los bordes de la cuenca.

La disolución y dispersión de los hidrocarburos, son máximas en las zonas profundas de la cuenca, donde existen presiones y temperaturas elevadas; la llegada de los fluidos a las zonas de flexión, de presión más baja y temperatura menor por encontrarse a profundidad menor, libera los hidrocarburos que se separan más fácilmente del agua, y se acumulan entonces en las trampas.

De estas hipótesis, que dan una importancia considerable al movimiento de los fluidos, desde el centro de la cuenca hacia las zonas de poca presión, bajo el techo de la compactación de los sedimentos y la subsidencia, están de acuerdo con la localización más general de los yacimientos en una cuenca, en las proximidades de su borde, o sobre los pliegues de fondo aparecidos muy pronto, durante la sedimentación.

Infiltración del agua meteórica.

Las aguas meteóricas se infiltran en parte y participan en la carga hidrostática de los yacimientos; se puede pensar que afectan entonces sensiblemente a las acumulaciones de hidrocarburos.

Papel del gas disuelto:

El papel del gas en la migración, ha sido reconocido muy pronto. Los gases naturales que se forman en los sedimentos al mismo tiempo que el petróleo, o independientemente, por su pequeña densidad, su facilidad de desplazamiento en los medios porosos, se concentran muy fácilmente en las trampas.

Cementación de los almacenes.

No se excluye, que las cementaciones locales, favorecen la aparición de zonas con presiones diferenciales, que presentan potenciales variables.

Los cementos formados en el manto acuífero, después del emplazamiento del petróleo, pueden quizás también en algunos casos, proteger los yacimientos de un barrido.

DESPLAZAMIENTO DE LOS HIDROCARBUROS DURANTE LA MIGRACION

Distancias recorridas por los hidrocarburos durante la migración:

La migración no puede efectuarse más que en las cortas distancias, directamente de la roca madre hacia la trampa donde el petróleo se almacena formando un yacimiento.

En efecto:

1. En yacimientos en lentejones arenosos o calizas recifales, rodeados completamente por series arcillosas y sin ninguna relación con otras formaciones porosas y permeables, no es necesario un desplazamiento a larga distancia, para que se forme un yacimiento.
2. Es difícil concebir un desplazamiento a larga distancia, en una roca de grano fino, tal como la roca que constituye más frecuentemente los horizontes-almacén.

A estos dos argumentos, se oponen serias objeciones:

- La existencia de yacimientos en lentejones aislados de toda zona porosa y permeable. De aquí la importancia de distinguir entre migración primaria y migración secundaria. La primera, interviene sólo en la formación de los yacimientos localizados en los lentejones arenosos.

Por el contrario, en otros muchos yacimientos, el volumen de las rocas-madre en la proximidad de la trampa, es netamente bastante menor, y se está obligado a hacer intervenir desplazamientos a larga distancia.

2. La viscosidad y la tensión superficial de los fluidos, disminuyen muy rápidamente cuando aumenta la temperatura, incluso la proporción de gas disuelto, que también tiende a disminuir la viscosidad y la tensión superficial, aumenta con la presión y la temperatura, y como consecuencia, con la profundidad de enterramiento.

Cabe pensar, que muchos de los campos se han formado después de una migración a larga distancia, a lo largo de rocas más particularmente permeables.

Los argumentos en apoyo de una migración a larga distancia (migración secundaria), más importante que un desplazamiento a pequeña distancia (migración primaria), en el emplazamiento de los hidrocarburos son numerosos:

1. La acumulación está controlada siempre, por la posición estructural elevada.
2. Las inmensas acumulaciones de petróleo o gas que constituyen los grandes campos.
3. En numerosos puntos, el petróleo no parece derivar de una roca local. En facies que muestran condiciones de depósito en un medio muy oxidante.
4. Algunas trampas, actualmente estériles, muestran trazas evidentes de lavado, y por tanto, de desplazamiento del petróleo.
5. En los yacimientos conocidos actualmente, los hidrocarburos están en equilibrio más o menos inestable en función de la naturaleza del almacén y de la trampa, de su profundidad y del movimiento y composición de las aguas de yacimiento. Las transgresiones, regresiones, plegamientos, movimientos epirogénicos, que introducen cambios en el buzamiento regional, erosiones, variaciones climáticas, etc., han debido tener necesariamente, influencia en la repartición de los yacimientos.

Historia de los desplazamientos de los hidrocarburos y de su acumulación:

El petróleo se forma en un sedimento de textura fina, a partir de materia orgánica que se encuentra allí, mezclada en mayor o menor abundancia. Sea cual sea el "protopetróleo" presente inicialmente en la roca madre o mejor en el sedimento madre, es expulsado muy pronto, después de la sedimentación, mezclado al agua de imbibición.

Esta expulsión, se realiza bajo el efecto de la compactación de los sedimentos, que se suma y en proporción quizás importante, a las compresiones laterales, resultantes de la subsidencia.

El primer efecto de la compactación de los sedimentos, es una reducción notable de la porosidad de las rocas de textura fina; los fluidos expulsados, tenderán a invadir las formaciones de porosidad elevada, donde las presiones son menores.

1. Si los cuerpos porosos y permeables, son lenticulares, parece que se produce una filtración, una segregación del agua y el petróleo.
2. Bajo el efecto de la gravedad, ayudada por la circulación de los fluidos expulsados de las zonas de alta presión del fondo de la cuenca hacia las regiones de menor presión de los bordes, los hidrocarburos se separan del agua, se reúnen en el contacto del techo de la formación almacén, y caminan en dirección a los puntos estructuralmente más elevados. Si encuentran una trampa en el camino, se acumulan y forman un yacimiento. Si no, alcanzan los afloramientos del almacén y se dispersan en la superficie del suelo.

◊ Epirogénesis Epirogénesis es una frase acuñada por Gilbert en 1890. El nombre tiene como objetivo principal designar el fenómeno geológico que surge como resultado de los movimientos tectónicos en sentido vertical. En caso de que este movimiento sea hacia arriba, recibe el nombre de elevación y para debajo de hundimiento.

◊ Orogénesis Orogénesis es un movimiento tectónico que se produce en sentido horizontal, y puede tener dos valores: convergente, donde dos placas chocan entre sí, y divergente, cuando dos placas se alejan. El primero provoca la aparición de pliegues y cordilleras y el segundo responde a la formación de las dorsales (cordilleras submarinas).

Esta primera etapa de la migración secundaria, se produce muy pronto durante la sedimentación, tiende a saturar principalmente las trampas estratigráficas o las trampas estructurales ya formadas en esa época: pseudoclinales de compactación diferencial, domos de sal.

Si una o varias fases orogénicas afectan al conjunto de los terrenos sedimentarios en que, se ha realizado la acumulación, podrá producirse un nuevo movimiento de los hidrocarburos que tenderán a desplazarse bajo el único efecto de la gravedad, hacia

estructuras más elevadas si los cierres anteriores son modificados, o serán barridos y transportados hacia otros puntos por los mantos acuíferos puestos en movimiento por los flujos e infiltraciones consiguientes a los plegamientos y erosión.

Trampas afectadas por anomalías sedimentarias, convergencia de capas, acuñamientos, discordancias. Scholten, las designó con el nombre de “synchronous highs”, que se puede traducir por “relieves sincrónicos” o mejor por “relieves contemporáneos de la sedimentación”.

Scholten definió así a: “toda área local con expresión topográfica, por pequeña que sea, producida por un relieve sobre el fondo de los mares o por lagunas durante el lapso de tiempo correspondiente al depósito de los sedimentos de la región”.

Pueden tener un origen tectónico o sedimentario:

1. Tectónico, son:

- a) Los anticlinales precoces, que aparecen muy pronto durante la sedimentación, (flexiones, producidas por la misma subsidencia).

- b) Las estructuras motivadas por el flujo disarmónico de los sedimentos plásticos (diapiros, domos de sal).

- c) Los bloques fallados que accidentan los bordes continentales y que se han producido por los reajustes de las fases tectónicas antiguas.

2. Sedimentarios:

- a) Los bancos arenosos (cordones litorales).

- b) Los relieves del fondo submarino.

- c) Los anticlinales de compactación diferencial, que se forman sobre arrecifes o paleorelieves.

En cualquier caso, estas zonas altas, aparecieron muy pronto, y existían ya durante la deposición de los sedimentos y antes de la diagénesis; por esto, su papel en la localización de los yacimientos es múltiple:

1. Separan frecuentemente de alta mar, una zona tranquila de borde, más o menos próxima al continente.
2. Por las modificaciones que su presencia aporta a las condiciones de sedimentación, favorecen la formación de rocas almacén.
3. Por su forma, los relieves sincrónicos crean trampas estratigráficas (arrecifes, paleorelieves, cordones litorales) o estructurales (anticlinales de compactación, domos de sal).

En resumen, entre todas las estructuras, son las más apropiadas para la acumulación del petróleo, porque son las primeras que están preparadas para las migraciones precoces (ellas mismas, tienden a provocar una migración precoz), porque producen un desarrollo local de rocas que ofrecen buenas condiciones de almacén, y porque provocan la aparición de un gradiente de presión que tiende a atraer el petróleo hacia ellas.



INDICIOS SUPERFICIALES

Son todas las manifestaciones en la superficie de la presencia de hidrocarburos en profundidad. Se distingue:

- Los indicios directos, producidos por la aparición en los afloramientos, de los mismos productos hidrocarburos.
- Los indicios indirectos, que son las manifestaciones en superficie de la presencia de los hidrocarburos, sin que ellos sean visibles.

Los indicios directos, se llaman activos o vivos, si los productos visibles se renuevan constantemente como consecuencia de una circulación subterránea activa.

Por el contrario, se llaman muertos o fósiles, si no hay renovación permanente que compense las pérdidas debidas a la oxidación en superficie, son todos los indicios inmovilizados de hidrocarburos más o menos difundidos en las arenas asfálticas por ejemplo.

El aspecto de los indicios, está ligado a la naturaleza del hidrocarburo, gas o petróleo, y entre los petróleos, a su composición química.

Está también ligado al tipo de yacimiento, que depende estrechamente de los caminos recorridos por los productos durante la circulación.

Los indicios superficiales, son el resultado de la dismigración, que será primaria si los hidrocarburos no han encontrado una trampa donde acumularse, o secundaria si escapan de un yacimiento ya constituido.

INDICIOS DIRECTOS

INDICIOS DIRECTOS ACTIVOS

Son el resultado de una circulación subterránea activa, que arrastra a la superficie una cierta cantidad de hidrocarburos, lo más a menudo mezclados a un volumen de agua importante. Su aspecto en superficie, es función de la naturaleza del producto y de su caudal.

Indicios de gas:

Las manifestaciones de gas combustible, son relativamente frecuentes, pero no siempre son fáciles de descubrir.

En países áridos, es probable que muchas de las fuentes de gas pasen desapercibidas, si su caudal es pequeño y no van acompañadas de agua.

En países húmedos, se manifiestan por la aparición de burbujas que rompen en la superficie de los arroyos y lagunas.

En este caso, los gases se notan por su olor a gasolina.

A veces, los indicios de gas son muy espectaculares, como los fuegos eternos del Oriente Medio (Irán, Irak) donde los gases se inflaman espontáneamente al contacto con el aire y arden permanentemente.

Los volcanes de lodo, son también indicios de gas, aparecen en regiones, en general fuertemente plegadas, en series modernas, poco consolidadas, donde existen a la vez horizontes-almacén impregnados de gas y agua salada a fuerte presión y arcillas. Las arcillas, son arrastradas por los gases a presión, a través de las fracturas. Forman en superficie conos en forma de volcán, que poseen un cráter principal y a veces cráteres adventicios, por donde se escapan el lodo y el gas. A veces son también arrastrados por el lodo hasta la superficie, bloques de sedimentos consolidados, como arenisca, caliza...

Los volcanes de lodo, pueden alcanzar dimensiones considerables, de varios centenares de metros de altura y diámetro, como 300 y 500 m.

El flujo es continuo o discontinuo con períodos de erupción violenta, pudiendo ocurrir que, durante los períodos de erupción, los gases se inflamen. Asociadas a los volcanes, aparecen a menudo coladas de lodo, que pueden alcanzar tamaños consideraciones.

El vulcanismo sedimentario, se conoce en numerosas regiones del globo. No está necesariamente asociado a yacimientos comercialmente explotables.

Los volcanes de lodo activos, son fáciles de reconocer; pero no es así, cuando están muertos o incluso enterrados y fosilizados. Sin embargo, masas arcillosas erráticas, mezcladas a fragmentos de roca diversos, encontrados en superficie o en sondeos, quizás se pueden atribuir a antiguos volcanes de lodo.

Además de los hidrocarburos, pueden aparecer otros gases en la superficie del suelo; el gas carbónico es frecuente. Sólo los gases que contengan homólogos superiores del metano, tienen posibilidades de ser gases del petróleo. (propano, metano, etano, pentano).

Indicios líquidos:

Los indicios líquidos, se presentan bajo aspectos diferentes que dependen de la naturaleza química de los hidrocarburos.

Los petróleos de base parafínica, a menudo ligeros y muy fluidos, se evaporan rápidamente en superficie y desaparecen sin dejar trazar.

En países húmedos, se manifiestan frecuentemente por irisaciones en la superficie de los mantos acuíferos, charcas o arroyos.

Se pueden confundir a veces estas irisaciones con manchas de hidróxido de hierro, que se desarrollan en los charcos de agua estancada. La distinción es fácil; las sales de hierro rompen en placas de bordes angulosos cuando se les agita con una varilla, mientras que las partículas de petróleo, forman regueros alargados. En caso de duda, es siempre posible recoger el producto con un trozo de tela o de papel secante, y hacer el ensayo con cloroformo.

Los petróleos con base nafténica, proporcionan indicios mucho más visibles. En efecto, al contrario que los petróleos parafínicos, se evaporan más difícilmente, pero se oxidan en contacto con el aire y dan lugar a productos más viscosos, tales como asfaltos.

Los más célebres y más espectaculares entre estos indicios, son los de Trinidad y Venezuela.

Las manifestaciones de petróleo no están localizadas únicamente sobre los continentes y las fuentes de petróleo, existen en el también en el mar.

INDICIOS DIRECTOS FOSILES

Los indicios fósiles, comprenden todas las trazas de hidrocarburos fijos, que se encuentran en las rocas. Su interpretación es en general más difícil.

Están lo más a menudo representados por hidrocarburos sólidos o pastosos, y más raramente líquidos.

Los indicios fósiles líquidos, aparecen en cavidades de las rocas, principalmente calcáreas, geodas, restos fósiles.

Los indicios pastosos o sólidos, están representados por betunes o asfaltos que impregnan y cementan arenas o areniscas, o rellenan fisuras.

POSICION GEOLOGICA DE LOS INDICIOS DIRECTOS:

Los indicios pueden aparecer en posiciones geológicas muy variadas allí donde existe una vía de circulación que permita o haya permitido a los hidrocarburos alcanzar la superficie del suelo.

Se pueden distinguir cinco tipos principales de posición geológica de los indicios:

- Indicios que emergen de capas monoclinales, donde afloran.
Cuando son indicios fósiles, su interés en la exploración, es escaso. Indican solamente, que se han formado hidrocarburos en los terrenos sedimentarios más profundos de la cuenca. Cuando son indicios vivos, se puede esperar que haya quedado atrapado un yacimiento, pero puede ser a una distancia considerable del indicio.

2. Indicios de petróleo encontrados asociados a formaciones en las que han podido originarse. No son resultado de una migración lejana.
3. Indicios de petróleo o gas, procedentes de una acumulación cuya cobertura ha sido atacada por la erosión o rota por accidentes tectónicos (pliegues y fallas).

La mayor parte de los indicios superficiales activos, conocidos en el mundo, se refieren a esta categoría.

Las fracturas de origen tectónico, como las fallas, permiten a veces el camino a los hidrocarburos desde los yacimientos profundos hasta la superficie.

Un plegamiento intenso que fisura una cobertura, destruye a veces parcialmente su estanqueidad.

Los indicios pertenecientes a estas últimas categorías, constituyen a menudo la causa de descubrimientos. Aparecen, en efecto, más o menos en la vertical de los yacimientos y los sondeos implantados en su proximidad, tienen posibilidades de encontrar una acumulación comercial.

4. Indicios colocados a lo largo de las superficies de discordancia. No es raro encontrar trazas de hidrocarburos, inmobilizados o no, a lo largo de los afloramientos de las discordancias.

Estos indicios, son menos útiles a la exploración que los precedentes, de su presencia, se puede deducir la formación de petróleo en la cuenca. Pero su posición no permite prácticamente la localización, incluso aproximada de un yacimiento.

5. Indicios asociados a intrusiones, diapirismo salino o arcilloso, o vulcanismo verdadero o sedimentario.

En la proximidad de los domos de sal, los indicios son a menudo frecuentes, asociados, bien a la sal misma, bien a las numerosas fracturas que la acompañan. Se nota frecuentemente la formación de volcanes de lodo, que arrastran a la superficie agua salada o más raramente petróleo. Los contactos entre formaciones volcánicas y sedimentarias, pueden tener manifestaciones de hidrocarburos, resultado de un metamorfismo local de rocas ricas en materia orgánica, que ha provocado una destilación natural.

INDICIOS INDIRECTOS

En algunas regiones del globo, la presencia de yacimientos en profundidad, produce la aparición en superficie de diversos productos que no son hidrocarburos. Su reconocimiento, ha conducido, a veces, a descubrimientos. De todas formas, su interpretación correcta es siempre delicada y su utilización como manifestación de un yacimiento, arriesgada.

- El ácido sulfúrico, está asociado a menudo a los petróleos, y su aparición directa o indirecta en superficie, puede indicar a veces la presencia de una acumulación.
- Formaciones superficiales de yeso pulvulenteo, blanco en superficie y marrón en profundidad, que contenga minerales sulfurosos y aragónitos, y que llevan el nombre de Gash-i-Tmush, han sido reconocidas en la proximidad de algunos yacimientos en Irak y de Irán. Resultarían de la acción de ciertas bacterias sobre hidrocarburos gaseosos.

La formación de las algaritas, sustancias orgánicas amarillentas, de aspecto córneo, que se encuentran fácilmente en los volcanes de lodo, sería también el resultado de una acción bacteriana.

Los procedimientos de prospección geomicrobiológica, que buscan zonas ricas en bacterias vivientes en los hidrocarburos, están basadas en la observación de estos productos, y su frecuente relación con los yacimientos de hidrocarburos.

La presencia de una roca-madre o al menos de terrenos sedimentarios ricos en materia orgánica o en pirita, que indican un medio reductor, puede ser considerado en cierta medida como indicio indirecto.

FALSOS INDICIOS

Ocurre bastante frecuentemente, que se tiren productos hidrocarburos, que posteriormente son arrastrados, por las aguas corrientes a distancias más o menos grandes antes de reaparecer en la superficie del suelo, simulando indicios.

La distinción será fácil si se encuentran en la proximidad inmediata y por debajo de las fábricas responsables, pero a veces exigirá mucha más atención. Un demuestre de análisis, será necesario para saber si es un producto original o refinado.

VALOR DE LOS INDICIOS SUPERFICIALES EN EXPLORACION PETROLIFERA

Durante numeroso años, prácticamente casi hasta el final del siglo XIX, los indicios superficiales fueron las guías más preciosas para la exploración petrolífera. En realidad, varias provincias actualmente grandes productoras de petróleo, no presentan indicios.

La interpretación de los indicios no puede ser ya considerada como herramienta de exploración; su búsqueda, su análisis, no deben sin embargo se desechados.

Este decrecimiento del interés, concierne solamente a la interpretación de las manifestaciones superficiales visibles a simple vista, los “macroindicios”. Por el contrario, la búsqueda y el estudio de los microindicios, objetivo de la prospección geoquímica, tienden a adquirir una importancia mayor, a medida que los yacimientos fáciles de localizar por los métodos convencionales se hacen raros.

A pesar de las dificultades e incertidumbres, aún numerosas, parece que los métodos de detección geoquímica deben desarrollarse aún más, y no se excluye que el estudio de los “microindicios” se convierta en herramienta importante de la exploración petrolífera.