

## 2.4) YACIMIENTOS ENERGÉTICOS: PETRÓLEO Y GAS NATURAL

A través de estas materias primas, el océano hace una contribución significativa a las necesidades energéticas actuales del mundo. Cerca del 28% del crudo y del 21% del gas natural producidos en los últimos años procedieron del medio marino. Casi un tercio de las reservas mundiales conocidas de petróleo y gas ocurren en los márgenes continentales. Estos y otros muchos datos acerca del petróleo y gas natural, nos dan a conocer la importancia de estos recursos marinos que constituyen recursos energéticos no renovables. En este apartado, daremos a conocer las bases generales de la formación del petróleo y gas.

### 2.4.1 Formación del petróleo y gas

El origen del petróleo está relacionado con las grandes cantidades de compuestos orgánicos que son depositados actualmente y de manera continua en las cuencas sedimentarias en el mundo. Los restos de organismos microscópicos contienen carbono e hidrógeno en cantidades abundantes, los cuales constituyen los elementos fundamentales del petróleo.

Los hidrocarburos son productos del material orgánico alterado derivado de organismos microscópicos. Estos son transportados por arroyos y ríos hasta lagos y/o el mar, donde son depositados bajo condiciones lacustres, deltaicas o marinas, junto a sedimentos clásticos finamente divididos. Los ambientes lacustres, deltaicos y marinos, producen la mayor parte de los organismos microscópicos, esencialmente fitoplancton, que son depositados masivamente junto a los materiales orgánicos transportados previamente y simultáneamente por los arroyos y ríos. Mientras tiene lugar la deposición de los materiales orgánicos en los distintos ambientes, aquellos son enterrados por limos y arcillas. Esto previene la descomposición total del material orgánico y permite su acumulación (figura 1).

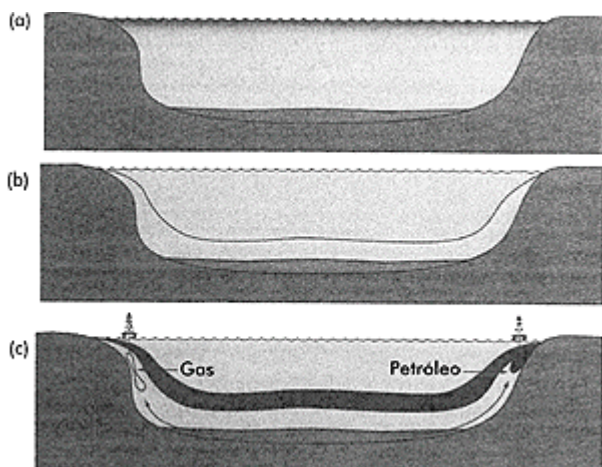


Figura 1 El petróleo y el gas se forman en sedimentos marinos en cuencas oceánicas generalmente aisladas y protegidas. a) materiales iniciales ricos en carbono, formados en las aguas superficiales, se acumulan en aguas profundas donde no pueden ser consumidas por otros organismos. b) Acumulaciones posteriores de sedimentos sellan los materiales ricos en carbono; las altas temperaturas y presiones transforman este material en petróleo y gas. c) Acumulaciones de sedimentos adicionales comprimen los depósitos originales, empujando el petróleo y gas, los cuales emigran hacia rocas más permeables, generalmente arenas y areniscas.

La cantidad de enterramiento es una función de la cantidad de sedimento descargado por los arroyos y ríos en lagos y mares, junto al tiempo involucrado en el proceso de deposición. Acumulaciones muy espesas de limos, arcillas y materiales orgánicos pueden producir grandes volúmenes de petróleo, si transcurre el tiempo suficiente como para que ocurra el proceso de alteración.

La conversión del material orgánico al petróleo se llama catagénesis, y está asistida por la presión causada por el enterramiento, la temperatura, la alteración termal y la degradación. Estos factores resultan de la profundidad, la acción bacteriana en un ambiente químico no oxidante (reductor) y cerrado, la radioactividad y la catálisis (procesos de transformación de los componentes de la matriz mineral de la roca origen). La temperatura parece ser el factor más importante junto con la asistencia de otros. La acumulación de materiales orgánicos y clásticos en el fondo del mar o lago, está acompañada por la actividad bacteriana; si hay abundante oxígeno, las bacterias aeróbicas actúan sobre la materia orgánica hasta destruirla. Sin embargo, la destrucción aeróbica de la materia orgánica se reduce considerablemente cuando cantidades suficientes de sedimentos de baja permeabilidad son depositadas de manera relativamente rápida por encima de estos materiales orgánicos, frenando así la circulación de aguas que contienen oxígeno. Como consecuencia, la actividad bacteriana aeróbica se para a causa del descenso en el contenido de oxígeno disuelto disponible, dando lugar a la actividad bacteriana anaeróbica. Esta utiliza el oxígeno de los sulfatos disueltos en el medio (convirtiéndolos en sulfuros), dando como resultado un ambiente de reducción (libre de oxígeno). La actividad anaeróbica ocurre en los primeros 20 metros de los sedimentos aproximadamente, cesando por debajo de esta profundidad.

Es en este ambiente de enterramiento rápido y condiciones de reducción, o libres de oxígeno, la formación del petróleo tiene lugar. Una vez que la materia orgánica parcialmente descompuesta y libre de los procesos de oxidación se encuentra en este estado, sufre el llamado proceso de maduración. Este proceso de maduración involucra la temperatura, la presión y el tiempo como factores fundamentales. La materia orgánica debe madurar al igual que lo hace la comida en una olla a presión. La manera en que los hidrocarburos son madurados depende del ambiente de deposición en el que han sido depositados. En términos generales, el petróleo se produce a lo largo de millones de años en profundidades de alrededor de 5 Km., a una temperatura de 150 °C. Profundidades mayores a los 5 Km. o demasiado tiempo de "cocción" a temperaturas de 200 °C darán lugar a la conversión del petróleo en gas. El gas se tornará incluso en gas ácido sulfuroso si la temperatura es aún mayor. Si por el contrario, el material orgánico no es lo suficientemente calentado, en profundidades por encima de los 4-5 Km., la formación de petróleo no tendrá lugar, ya que estos quedarán en un estado inmaduro y consecuentemente, inútiles para el hombre. La figura 2 muestra un diagrama que resume este proceso.

Se podría generalizar que las capas sedimentarias profundas son más viejas y están más calientes que las menos profundas y más jóvenes, por lo que las primeras, tendrían una mayor proporción de gas que de petróleo. De todos modos, aunque la mayoría de las zonas poseen un régimen de flujo de calor por encima y por debajo de la media, las profundidades de generación del petróleo son sustancialmente variables de lugar a lugar.

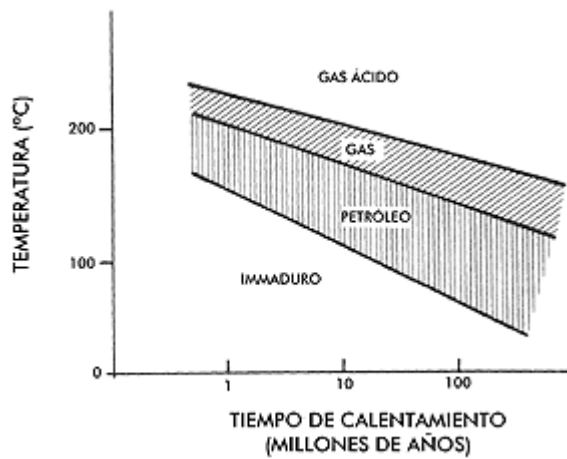


Figura 2 La relación tiempo-temperatura para la maduración de los hidrocarburos se representa en este diagrama. Si sedimentos orgánicos se mantienen entre 150°C a 200°C durante 1 millón de años, entonces se formará el petróleo. Si la temperatura excede los 200°C, se formará gas. Sin embargo si la temperatura sube aún más, se formará gas ácido. Si por el contrario las capas fuentes de material orgánico se encuentran a solamente 100°C, entonces harán falta 100 millones de años para que maduren hasta convertirse en hidrocarburos.

### 2.4.1.1) Migración del petróleo

El petróleo, al ser menos denso que el agua y los sedimentos circundantes, tiende a emigrar de la roca origen donde se forma, a las rocas reservorio, a través de formaciones porosas suprayacentes, donde se almacena. De hecho, grandes cantidades consiguen escapar de manera natural a los océanos a través de filtraciones en el fondo marino. La fuerza motora de esta migración es la flotabilidad del petróleo, junto con la presión hidrostática y la compactación de las rocas de origen, como parte de la diagénesis, lo que hace que los hidrocarburos sean forzados de entre las capas de origen a formaciones más permeables.

El petróleo continúa su emigración hasta que se tope con una capa impermeable (trampa) suprayacente. Esta será una roca impermeable situada encima de las formaciones porosas a través de las cuales han emigrado los hidrocarburos, o bien un rasgo estructural que actúe como barrera que inhiba el flujo o ascensión del petróleo (figura 3). De esta manera, el yacimiento de petróleo permanecerá en este lugar hasta que alguna compañía petrolífera se tope con él, vía perforaciones a través de la capa impermeable.

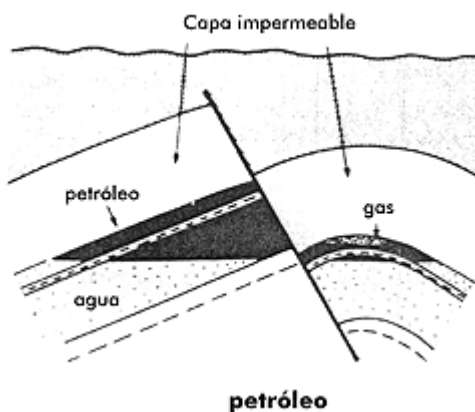


Figura 3 Dos tipos de trampas. A la izquierda, el petróleo está contenido en una zona determinado por una falla; a la derecha, en una cúpula anticlinal.

Generalmente, la acumulación del petróleo ocurre de manera estratificada junto a las dos otras fases líquidas que lo acompañan: el agua y el gas. Este último es el más ligero y reposa sobre el petróleo; este por su parte, reposa sobre el agua presente en la formación (figura 4). La calidad del gas disuelto en el petróleo depende de la presión, la temperatura y las características de los hidrocarburos. Los hidrocarburos se acumulan en las porciones más permeables de las rocas de reservorio debido a la hidrodinámica. La acumulación de petróleo requiere, como hemos mencionado, unos periodos de formación muy largos, particularmente en reservorios de baja permeabilidad. La movilidad de los fluidos en el reservorio aumenta al incrementar la permeabilidad de las formaciones.

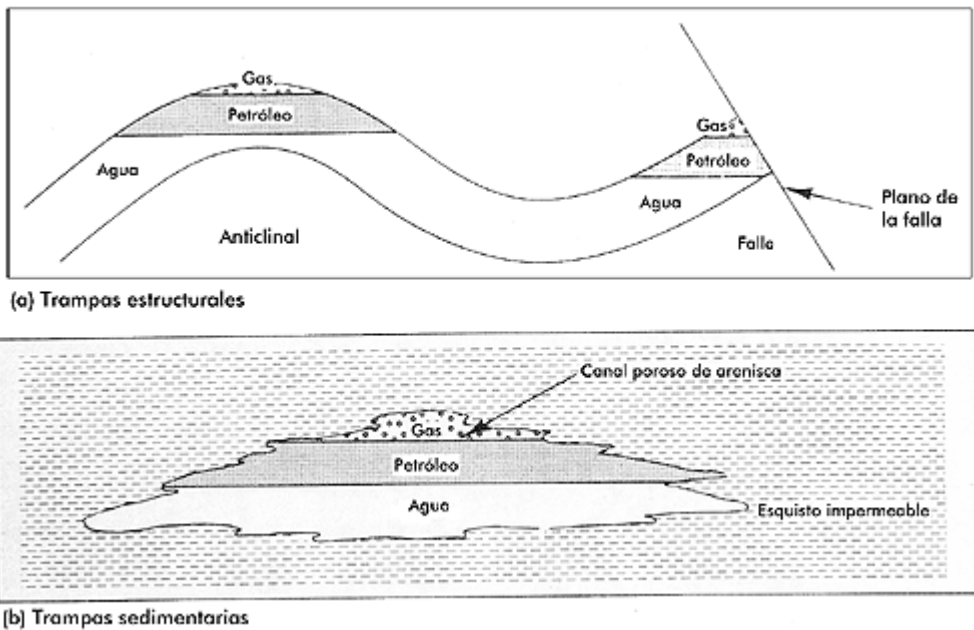


Figura 4 Disposición del petróleo, gas y agua en una roca reservorio. Nótese las trampas estructurales y sedimentarias de las dos figuras respectivamente.

### 2.4.1.2 Generación del gas

El gas natural consiste de hidrocarburos no condensables a 20°C y a presión atmosférica. Los gases naturales consisten mayoritariamente o parcialmente en metano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), aunque también poseen ciertas cantidades de nitrógeno, dióxido de carbono y azufre, este último comúnmente en la forma de H<sub>2</sub>S en pequeñas proporciones. Existen tres tipos de gases naturales que a continuación resumimos:

1. **Gas de petróleo:** Se genera como un subproducto de la generación del petróleo. En este caso, el gas acompaña al petróleo en el reservorio subterráneo, o se localiza en un reservorio separado entre otros que contienen petróleo. Este tipo de gas se llama gas asociado. El gas de petróleo puede, alternativamente, formarse de la modificación termocatalítica del petróleo bajo temperaturas reinantes en los reservorios profundos. Este tipo de gas no acompaña al petróleo, y se denomina gas no asociado.
2. **Gas del carbón:** Se forma por la modificación termocatalítica del carbón, o de otras maneras posibles. La mayor parte del gas natural comercial del mundo es de este origen.
3. **Gas biogénico:** Se forma a baja temperatura cerca de la superficie terrestre (tasas de acumulación de sedimentos marinos. El metano por ejemplo, el constituyente más común, se produce por la oxidación anaeróbica del dióxido de

carbono del material orgánico. Los factores que afectan la formación del gas son la sobrecarga sedimentaria, la cantidad de material orgánico, la calidad del ambiente anóxico (sin oxígeno), que afecta las cantidades de sulfatos y CO<sub>2</sub>, las temperaturas reducidas y el espacio suficiente para la formación de bacterias.

---

### **2.4.1.3 Yacimientos petrolíferos en el mar**

El petróleo y el gas, ocurren virtualmente a lo largo de cualquier clase de margen continental, provisto que las condiciones estructurales y estratigráficas estén presentes. Los yacimientos petrolíferos en el mar ocurren generalmente en las plataformas y taludes continentales de los continentes, siendo los complejos arrecifales y los depósitos de arenas y gravas bien clasificadas los lugares de mayor potencial petrolífero. La deposición marina y las condiciones de atrapamiento adecuadas son necesarias para la generación y acumulación de petróleo. Trabajos de geología y geofísica, han demostrado que las plataformas continentales han sido construidas por el proceso llamado progradación, es decir, por la acumulación de sedimentos de origen continental en los márgenes inclinados de las plataformas continentales. Se considera pues, que las plataformas son el lugar de reposo final de virtualmente todos los detritos clásticos, incluyendo los detríticos carbonatados. A continuación, resumiremos los ambientes marinos donde se suelen localizar y localiza actualmente, los yacimientos de petróleo y gas.

Depósitos de arenas y gravas asociados con sedimentación de playa; son normalmente depositados sobre sedimentos de grano fino, sobre los cuales transgresan o regresan, con los cambios en el nivel del mar. Pueden ser muy gruesos y consistir de guijarros o cantos rodados. Las arenas de playa típicas están bien clasificadas, y son bien redondeadas, lo que las convierte en excelentes reservorios. Un ejemplo es la cuenca de San Juan, en Nuevo Méjico, la cual está compuesta por areniscas cretáceas constituidas por depósitos de playa y costeros transgresivos y regresivos. Esta área es conocida por contener gas adherente en las arenas, las cuales pueden ser estimuladas para aumentar la producción.

Arenas depositadas en islas de barrera. Estas arenas son porosas y poseen un excelente potencial de convertirse en reservorios. Están a menudo enclaustradas o rodeadas de capas productoras de petróleo compuestas de lutitas (pizarras arcillosas), las cuales sellan la arenisca dentro de la cual han sido introducidos los hidrocarburos.

Los depósitos de espolón y barra de entrada de bahías son similares a aquellos de las barreras. Consisten de las mismas arenas porosas y poseen las mismas buenas propiedades de reservorio.

Los sedimentos de abanico submarinos, consisten de componentes sedimentarios de turbiditas, canales y desprendimientos. Estos son reservorios de producción extensa en el Campo de producción Frigg, en el Mar del Norte. Allí, las reservas ascienden a más de siete trillones de pies cúbicos de gas; paralelamente, en el Campo Forties del mismo mar, las reservas son de más de 4 billones de barriles de petróleo.

Los depósitos de cuencas profundas, ricos en materia orgánica, poseen un muy buen potencial de tener capas productivas de petróleo. Son depósitos muy por debajo de la base de las olas, donde sus contenidos carbónicos son preservados. Estas capas, proveen de hidrocarburos a las rocas de reservorio suprayacentes.

Los sedimentos de grano fino depositados en lagunas entre la tierra y la isla de barrera o barra de entrada de bahía, pueden presentar un potencial de tener capas productivas de hidrocarburos si contienen material orgánico, y si estos, son depositados bajo regímenes de aguas tranquilas. Los sedimentos de lagunas no son necesariamente muy espesos o extensos lateralmente.

Una marisma o zona pantanosa ubicada entre los canales distributarios de un delta, puede proveer una buena fuente de capas productoras (lutitas por ejemplo) para posteriores rocas de reservorio compuestas por depósitos de arenas de canales fluviales. Estas capas, pueden ser extensas cuando comparadas con los deltas del Mississippi y del Nilo. Marismas marinas ubicadas en las anteislas o anteplayas, pueden proporcionar capas de fuente de hidrocarburos para areniscas de playa o de barrera. Aquellas pueden ser extensas a lo largo de la deposición espacial paralela a la costa.

Los complejos arrecifales porosos carbonatados pueden resultar ser rocas de reservorio altamente productivas. Arrecifes en Méjico, Canadá, oeste de Tejas y el norte de África, son bien conocidos por sus elevadas tasas de producción de petróleo y gas.

Finalmente, los bancos de algas porosas y dolomitas pueden actuar como rocas de reservorios. Algunas dolomitas de grano fino, pueden comportarse como rocas de reservorio en medios sedimentarios consistentes totalmente de rocas carbonatadas que podrían estar asociadas con evaporitas. Algunos ejemplos son, los carbonatos de varios campos petrolíferos de oriente medio, que son considerados como excelentes fuentes de hidrocarburos. Los colchones de algas carbonatados, ubicados en las saladas y someras aguas marginales del Mar Rojo, son a menudo muy propensas de preservar materiales orgánicos, teniendo así, un potencial petrolífero significante.

La figura 5 muestra la distribución de las principales cuencas sedimentarias del mundo.

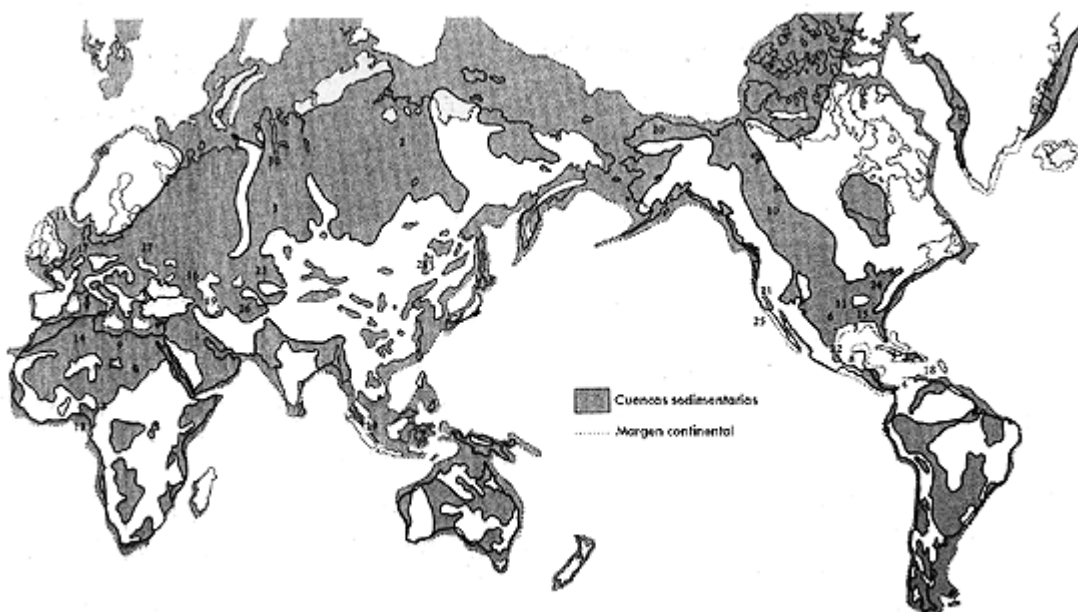


Figura 5 Distribución de las principales cuencas sedimentarias del mundo. Nótese que estas no están restringidas a las plataformas continentales, si no que ocurren en cualquier lugar de los continentes. Esto se debe a la formación de las cuencas sedimentarias en distintos ambientes en el pasado geológico; después de millones años de cambios producidos por el tectónica y la deriva continental, éstas se localizan ahora en los ambientes más diversos.

## 2.4.2 Exploración y explotación de hidrocarburos en el mar

### 2.4.2.1 Exploración de hidrocarburos en el mar

La tarea de encontrar y producir petróleo y gas en el mar resulta bastante diferente que en la tierra. Algunos aspectos de la tarea son más fáciles en el mar; sin embargo, la mayoría son ambos difíciles y costosos. La mayor parte de la exploración de hidrocarburos en el mar se lleva a cabo a través del método sísmico de reflexión, en los márgenes continentales. Los instrumentos son arrastrados detrás del barco sobre áreas potenciales de contener hidrocarburos (figura 6). Esta actividad resulta más fácil en el agua que en la tierra, ya que puede ser llevada a cabo de manera relativamente fácil por el barco, el cual navega de manera continua en cualquier parte del océano. El caso contrario es en la tierra, donde existen obstáculos como terrenos rugosos, accesos difíciles, etc. Uno de los factores esenciales en la exploración marina sin embargo, es la navegación y posicionamiento precisos del navío, con el fin de obtener datos fiables.

La exploración por reflexión sísmica involucra el uso de instrumentos que producen una variedad de frecuencias sísmicas, dependiendo de la información y registros deseados. Las ondas emitidas penetran en el suelo marino y son reflejadas desde las varias capas de sedimentos (figura 6). La reflexión está causada por las diferencias en las propiedades de los sedimentos y las rocas, tales como la densidad, la porosidad y la compactación. Las ondas o vibraciones pueden ser generadas, en el caso de la exploración marítima, por un pulso eléctrico, una explosión de gases o un cañón de aire. Estas ondas penetran en el suelo marino a profundidades de 4 a 5 Km., y sus retornos son recogidos por los hidrófonos, que son los instrumentos que detectan y reciben la llegada de los pulsos. En ambos, la explosión de gases y el cañón de aire, un perfil de reflexión acústica se genera en el ordenador de a bordo.

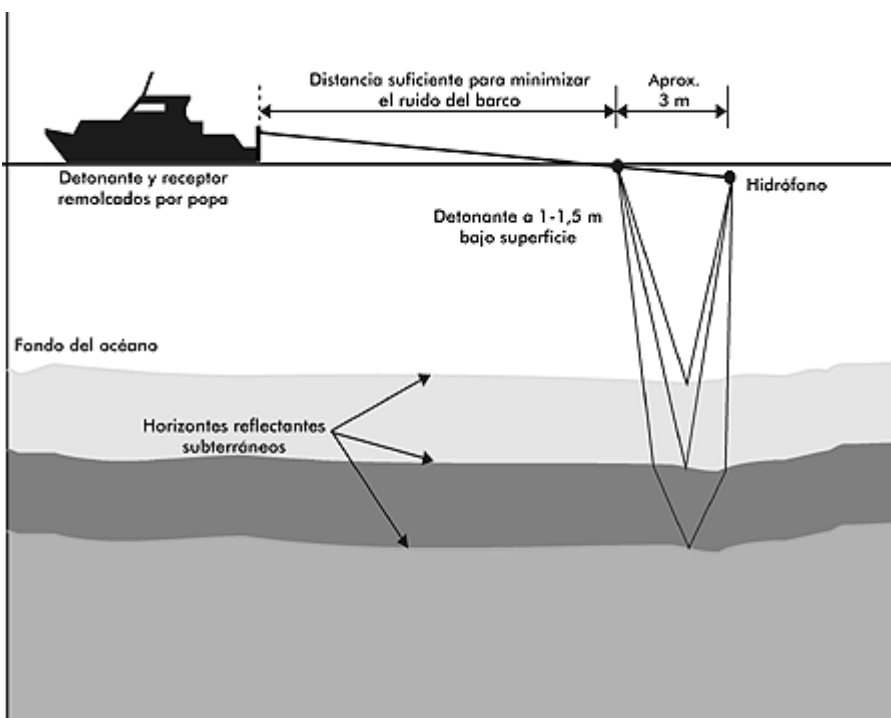


Figura 6 Diagrama del sistema de perfiles continuo de reflexión sísmica.

Estas ondas o vibraciones, después de ser emitidas, viajan hasta y a través de los sedimentos hasta que chocan con una superficie que los refleja, siendo esta a menudo, una superficie dura. Las ondas, una vez encontrado esta capa dura, son reflejadas hacia la superficie donde son recibidas por los hidrófonos. Los registros son interpretados e impresos en un sismógrafo, que muestra un perfil o corte transversal de lo observado en el substrato marino (figura 7). Estos registros se recogen continuamente sobre el área de estudio. El grado de penetración y de resolución proporcionada por los perfiles sísmicos depende en su mayor parte de la frecuencia de la señal que se envía desde el barco. En general, cuanto más alta sea la frecuencia, mejor será la resolución, pero menor la profundidad de penetración y viceversa.

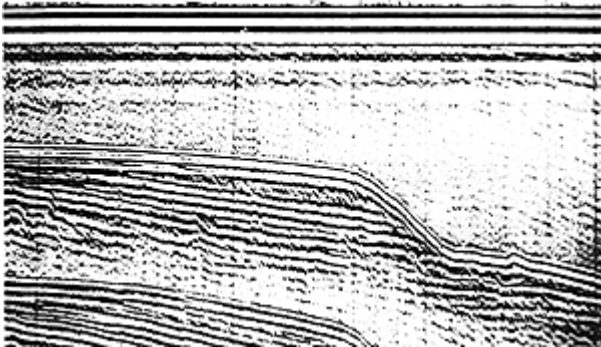


Figura 7 Un perfil sísmico tomado en la plataforma continental. En el se observan los horizontes o capas oscuras denominados reflectores, y que indican un cambio en el tipo de sedimento.

#### ANÁLISIS DE UN PERFIL DE REFLEXIÓN SÍSMICA

La recopilación y análisis de los registros de reflexión sísmica resultan una aproximación estándar al estudio de los sedimentos y rocas del subsuelo marino. El tipo de equipo a utilizar varía dependiendo de dos factores básicos: la profundidad de penetración en el substrato y la resolución de las capas que se precisa. La ilustración muestra un perfil de reflexión sísmica junto con la interpretación geológica correspondiente. Las líneas oscuras en la sección sísmica representan capas de sedimentos o rocas que reflejan la energía sísmica. Tal como se aprecia, algunas capas son esencialmente horizontales y paralelas, mientras que otras son más irregulares. Hay una variación en la distinción de las capas; los buenos reflectores son aquellos con un alto contraste entre las capas adyacentes, produciendo líneas oscuras y distintivas.

**Nota:** Los múltiples son ecos electrónicos y no tienen ningún significado en la interpretación de los perfiles.

En los últimos años, la tecnología de la reflexión sísmica ha avanzado considerablemente. Una innovación destacable, son los sistemas sísmicos con multicanales. Este sistema utiliza líneas largas, de varios cientos de metros incluso, que son arrastradas detrás del barco (al igual que las convencionales) a las cuales están conectados los hidrófonos. El sistema permite que se reciban numerosas señales de cada punto de reflexión del substrato marino gracias al mayor número de hidrófonos que pueden ser utilizados a la vez. Entre otras cosas, este sistema proporciona un registro de perfiles más claros y detallados. Una vez que se ha identificado la estructura-objetivo, una campaña adicional de exploración sísmica detallada debe repetirse después del descubrimiento de dicha estructura. Esta campaña incluirá perfiles de alta resolución en varias líneas a través del objetivo, con una proyección en 3D de la misma. Por medio de la combinación de los detalles de las capas sedimentarias, la profundidad y la estructura del reservorio obtenidos a través de la reflexión sísmica, los geólogos tendrán una buena idea de cómo y hasta donde habrá que perforar.



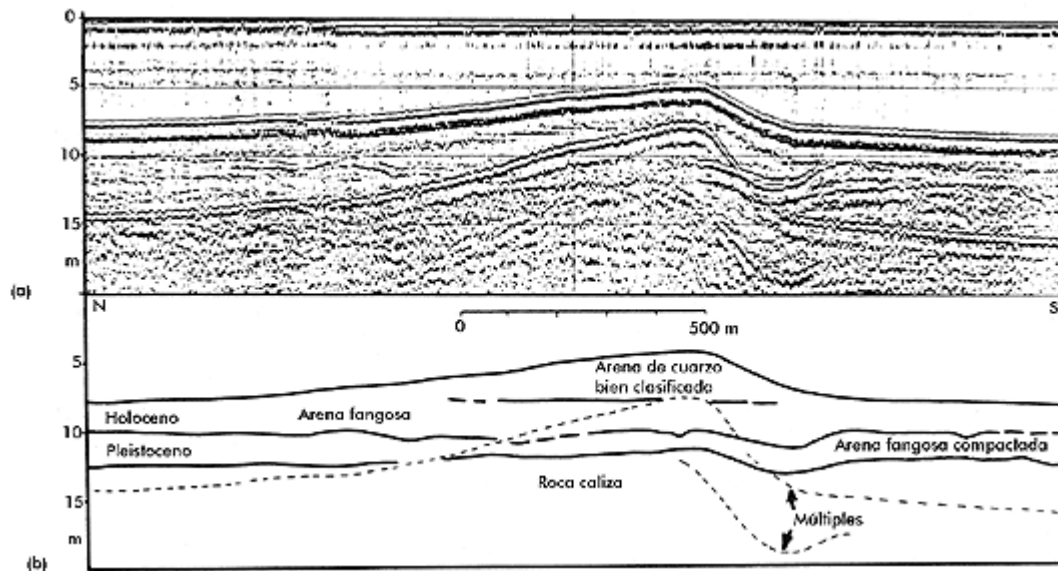


Figura 8 Ejemplo de exploración sísmica.

### 2.4.2.2 Plataformas petrolíferas

Una vez definido el objetivo, el próximo paso es montar las estructuras necesarias para extraer el petróleo del reservorio. Las plataformas de perforación pueden ser instaladas y después sustituidas por plataformas de producción, una vez que los pozos estén completados.

La mayoría de los depósitos de petróleo marinos son interceptados desde plataformas que reposan en aguas con profundidades de aproximadamente 100 metros. No obstante, existen otros tipos de plataformas petrolíferas que se ajustan al entorno oceánico en concreto y a las condiciones de explotación de acuerdo a las características del reservorio a explotar. El factor determinante en la elección del tipo de plataforma es la profundidad del suelo marino y de producción; también se puede tener en cuenta las características climáticas y marítimas del área de explotación.

Un tipo de plataforma petrolífera utilizada es la plataforma de elevación (figura 9). Esta estructura reposa sobre una plataforma flotante que posee unos pilares o piernas altas de gran escala que se elevan sobre la superficie durante el transporte y que posteriormente son bajadas al suelo marino de la plataforma continental para las perforaciones. Una vez en posición, la plataforma y su maquinaria de perforación, junto a todas las instalaciones de apoyo, son elevadas sobre la superficie del agua para estabilizarse y comenzar las perforaciones.

Un segundo tipo de plataforma son aquellas denominadas plataformas de gravedad. Estas estructuras son los objetos más grandes jamás desplazados por el hombre. Se llaman plataformas de gravedad debido a que se asientan y estabilizan sobre el suelo marino bajo su propio peso. Un ejemplo de tal plataforma es la *Stafford-B*, situada en el Mar del Norte al noreste de las islas Shetland (figuras 10 y 11). Su altura alcanza los 270 metros por encima del suelo marino y pesa 824.000 toneladas. Su coste: 1,84 billones de dólares. La plataforma está diseñada para aguantar olas de hasta 30 metros y vientos de mar de 160 Km. por hora. Los pozos de producción de esta plataforma alcanzan los 6.000 metros de profundidad.



Figura 9 La plataforma de elevación flota sobre su estructura de "balsa". Una vez situada en el lugar, las piernas son utilizadas para elevar la plataforma por encima del agua y para estabilizarla para las operaciones de perforación.



Figura 10 La plataforma de gravedad Statfjord-B durante su ensamblaje en un fiordo noruego.

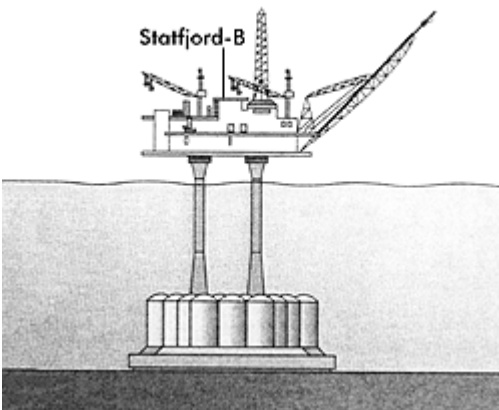


Figura 11 Un dibujo esquemático de la plataforma Statfjord-B asentada sobre el fondo marino.

Un tercer tipo de plataforma petrolífera son las plataformas de tensión, utilizadas cuando la profundidad del agua alcanza los 450 metros. Estas estructuras se mantienen en posición por medio de cables de acero anclados en el suelo marino, los cuales actúan contra la flotabilidad de la plataforma semisumergida. Cables de acero adicionales también anclados al fondo marino en un radio determinado, previenen y evitan movimientos laterales de la estructura. Un ejemplo de este tipo de plataformas es la *Auger*, de la compañía petrolífera Royal Dutch Shell. La plataforma está instalada en 873 metros de agua en el Golfo de Méjico. Posee ocho cables laterales anclados en el suelo

marino en un radio de 2,7 Km. de la base, para prevenir movimientos laterales. La producción estimada para el año 2001 es de 46.000 barriles de petróleo y 3.540.000 metros cúbicos de gas diarios.

### 2.4.2.3 Perforaciones y producción de hidrocarburos

Una vez que la plataforma está en funcionamiento, se procede a la perforación de pozos de exploración y producción. Estos se llevan a cabo desde torres de perforación que permiten penetrar los reservorios hasta las profundidades deseadas (figuras 12 y 13).



Figura 12 La torre de perforación llega a tener alturas considerables, para permitir la utilización de barrenos de la máxima longitud posible durante las operaciones y para facilitar la maniobrabilidad.

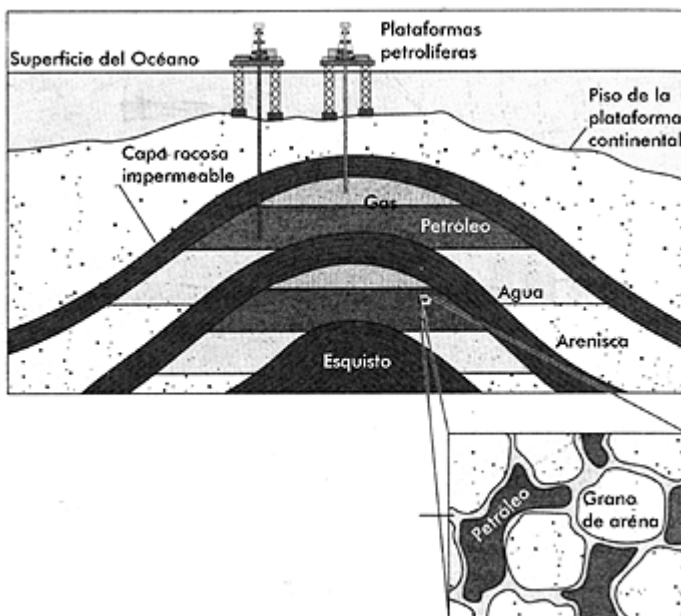


Figura 13 Una vez definidas la estructura del reservorio, las perforaciones penetran a la profundidad deseada para la futura extracción de los hidrocarburos. Nótese que el petróleo está contenido en los poros de la formación.

Las perforaciones pueden durar varias semanas o meses, dependiendo de la profundidad a perforar y la dificultad de la penetración en las formaciones. Una vez que se ha llegado al objetivo y que las características de este son conocidas, se puede diseñar un programa de perforación que se ajuste a los requerimientos estructurales y de producción del

reservorio. Uno o más pozos son perforados hasta penetrar las rocas del reservorio para permitir que el petróleo y el gas sean extraídos. Los pozos pueden ser perforados directamente verticales o arqueados convergentes o divergentes, con el fin de interceptar de la mejor manera la estructura del reservorio, aprovechando así el volumen de extracción (figura 14).

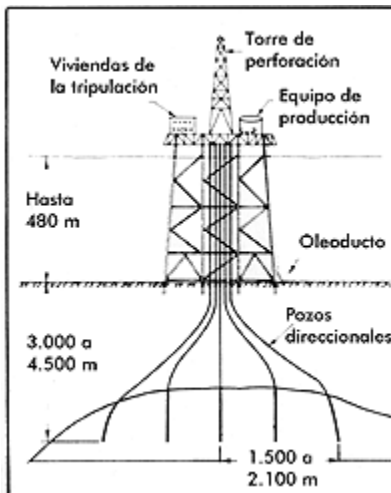


Figura 14 Las perforaciones pueden ejecutarse de forma que se ajuste a la morfología del reservorio. En este caso, estas están arqueadas de forma convergente para una mejor distribución de los pozos que interceptan el reservorio.

Cuando la presencia de petróleo ha sido confirmada, el objetivo se vuelve hacia lograr la máxima producción del reservorio. Un programa inicial de recuperación de los hidrocarburos se diseña para producir la mayor cantidad de petróleo al menor costo posible. Lo último es una función de las características del reservorio, como su tamaño, su espesor, el tipo de empuje (de agua o gas) y de como poder conservar las presiones del reservorio para promover la máxima recuperación. Los métodos de producción varían según los reservorios, las presiones internas de estos y los tipos de empuje. Los reservorios con altas presiones internas pueden ser explotados dejando que fluya el petróleo naturalmente. Por el contrario, los reservorios con poca presión interna, o sin presión alguna, son explotados por medio de un sistema de bombas de extracción.

Los reservorios producen gas con relación a la porosidad y la permeabilidad. La porosidad representa la cantidad de espacio vacío en una roca, y se mide como un porcentaje del volumen de esta. La permeabilidad es la habilidad de una roca de permitir el flujo de fluidos a través de los espacios porosos conectados de ella. Sin embargo, la producción también está relacionada con las presiones internas, los tipos de fluidos que contienen las rocas, las fases de los líquidos involucrados y como interactúan los fluidos con la habilidad de la roca para transmitirlos.

Básicamente, la producción de un reservorio está afectada por un conjunto de presiones internas creadas por las diferencias entre unos fluidos y otros, las diferencias de presión creadas como consecuencia de la extracción de una fase, (como por ejemplo el gas) u otra y la presión del reservorio en sí, compuesta por las presiones litostáticas, hidrostáticas y de origen tectónico. Cuando un reservorio es explotado, su presión se reduce, alterando así las fases de los fluidos que contiene, algo que cambia la habilidad del reservorio de producir hidrocarburos a la tasa inicial de producción. Esto conlleva a que finalmente, se tengan que aplicar programas de recuperación adicionales para mantener las tasas de producción deseadas. Tales programas incluyen el aumento

artificial de la permeabilidad para facilitar el flujo de los fluidos, o la inyección de agua o gas para crear un empuje que movilice el petróleo hacia el pozo de producción.

Como nota final, es importante destacar que los pozos de producción en el mar deben resultar ser enormes productores comparados con sus homólogos en tierra firme, con el fin de contrarrestar el astronómico coste de las operaciones en mar abierto. Es obvio que el coste de los equipos, logística, mano de obra, etc. resultan más caros que en tierra. Esto provoca que los costes de las actividades de perforación en alta mar sean diez veces las de los continentes.

En el presente, las actividades de producción se centran en las plataformas continentales, existiendo sin embargo, numerosas operaciones de exploración en zonas marítimas más profundas. Un ejemplo de esto es el talud continental, donde sedimentos ricos en materia orgánica se han ido acumulando durante decenas de millones de años. Es obvio que los próximos objetivos de exploración se centrarán en estas zonas del océano.

---

#### 2.4.2.4 Transporte de hidrocarburos

Una vez que los hidrocarburos y gas natural han sido extraídos, se procede a transporte a los mercados del mundo para su procesamiento o comercialización. El transporte de los hidrocarburos desde las plataformas petrolíferas a sus destinos en los continentes, se puede llevar a cabo a través de grandes buques petroleros que almacenan enormes cantidades del crudo en tanques dentro del casco, o bien vía oleoductos y gasoductos que van desde las plataformas petrolíferas mismas hasta los continentes, atravesando distancias considerables del suelo marino. Los petroleros más grandes tienen más de 430 metros de largo y 66 metros de ancho, y almacenan y transportan más de 500.000 toneladas métricas (o 3,5 millones de barriles) de petróleo (figura 15).



Figura 15 El Murex es el primero de la serie de cinco petroleros construidos para la compañía petrolera Shell. Cada buque posee un casco doble y transporta 2.15 millones de barriles de crudo a una velocidad de 28 kilómetros por hora. El Murex tiene 332 metros de eslora y se extiende 22 metros bajo la superficie del agua cuando está cargado completamente.

Existe la problemática constante del potencial de derrames de petróleo en muchas partes del océano, bien a causa de fallos estructurales en los medios de transporte, bien por errores humanos. Sin embargo, la legislación ha ido limitando la construcción de los superpetroleros a modelos más fuertes con diseños de doble casco, junto con la actualización, formación y entrenamiento del personal de los medios de transporte de los hidrocarburos. Todo esto tiene como fin evitar los desastres biológicos que han tenido lugar en el pasado, relacionados con el transporte de petróleo.