

OILWATCH

CURSO TECNICO DE LA INDUSTRIA PETROLERA

ELABORADO EN CENSAT AGUA VIVA (COLOMBIA)

Por: José Lino Gómez Franco y Tatiana Roa A.
Revisión final: Tatiana Roa A.

Santafé de Bogotá, 1999

INTRODUCCION

A todos nos ha pasado que cuando se habla del petróleo o de la industria petrolera, cuando vemos a lo lejos una torre de perforación o una instalación petrolera nos imaginamos un mundo complejo y difícil de entender. Con este sencillo documento hemos querido hacer un recorrido a lo largo de la industria petrolera para entender que ese mundo como éste otro donde habitamos no es inaccesible, solo se requiere aplicar la lógica con la que a diario vivimos

No pretendemos con este documento resolver todas y cada una de las inquietudes que se plantean a diario comunidades o grupos de educadores y luchadores que trabajan haciendo resistencia a la actividad petrolera, sin embargo, si queremos hacer más entendible los diversos procesos petroleros.

El documento se encuentra dividido en varios ítems: Hemos querido iniciar contando la evolución histórica de esta industria, porque esta como toda industria también tiene su historia. Es la historia del petróleo la que marcó este siglo que termina, empresas petroleras e industriales petroleros definieron e impulsaron la economía del mundo, pusieron y quitaron gobiernos, presidentes, dictadores.

Y continuamos con el ciclo petrolero, exploramos las diversas teorías sobre el origen del petróleo, como se forman los yacimientos petrolíferos, cuáles son los métodos para su exploración, las formas de extracción (perforación y producción) y también los procesos de refinación y transporte. Además incluimos una breve reseña de la perforación costa afuera. Por último presentamos algunos de los impactos ambientales, sociales y culturales que esta industria ha generado en los países tropicales.

Oilwatch quiere que este material se convierta en un instrumento de trabajo en el desarrollo de los procesos educativos y de resistencia que se desarrollan en nuestros países. Así mismo, esperamos continuar enriqueciendo este manual desarrollando temas técnicos más específicos que nos permitan hacer más accesible esta compleja industria.

1. HAGAMOS HISTORIA

El petróleo significa literalmente *aceite de piedra*, pero se le ha designado a lo largo de la historia con diferentes nombres: aceite mineral, nafta, betún, asfalto, pez de Trinidad, etc. Su conocimiento no es nuevo remontándose su uso a los orígenes mismos de la humanidad. En la antigüedad diversas culturas adoraron el fuego que surgía del suelo y se mantenía permanentemente encendido alimentado por gas natural procedente de yacimientos profundos. Usaron el petróleo que afloraba naturalmente para mantener el fuego sagrado en los templos antiguos y las rocas asfálticas para la construcción de sus viviendas.

Los habitantes del Tigris y el Eufrates perfeccionaron múltiples usos para el petróleo: combustible, medicina, pintura y decorado de templos, y construcción. Los egipcios lo usaron para el embalsamamiento de los cadáveres, los chinos llegaron a perforar pozos, con profundidades de hasta 3.500 pies, de los cuales extraían y conducían por tuberías de Bambú. Los persas y los árabes avanzaron en el perfeccionamiento de tecnologías que permitían destilar el petróleo en sus fracciones más ligeras, para emplearlo con fines guerreros. En América, los pueblos indígenas lo usaron en múltiples oficios inclusive como combustible para alumbrarse en sus viviendas, para calafatear sus canoas, reforzar sus vasijas y con diversos fines medicinales. Para la cultura occidental del siglo XIX, la preocupación por obtener una fuente de energía lumínica la llevaría a establecer las posibilidades del petróleo en este campo.

Hacia mediados del siglo XIX un abogado de Nueva York, llamado George Bisell, se preguntaba si una sustancia que se conocía como “aceite mineral” que rezumaba en las colinas de Oil Creek en Pennsylvania, se podría explotar en grandes cantidades como combustible para lamparas. Bisell descubre en el método de perforación para la obtención de sal la posibilidad de explotar industrialmente los pozos de petróleo y decide aplicarlo. Contrata así a E. L. Drake, para que llevara a cabo las labores de extracción en Titusville (Pennsylvania). El “coronel” Drake emprende las actividades de perforación, aplicando nuevas técnicas y dos años más tarde logra extraer petróleo de un pozo, convirtiéndose así en el primer y más reconocido perforador en la historia de la industria petrolera. En Abril de 1861 los perforadores dieron con el primer pozo surgente que expulsaba petróleo a un asombroso ritmo de 3.000 barriles al día. Así, la producción de Pennsylvania pasó de 45.000 barriles en 1860 a 3 millones en 1862 disipando las preocupaciones respecto al nivel de producción.

Todo esto condujo a una frenética oleada de prosperidad y a un ambiente de comercialización en el que los precios subían y bajaban a ritmos vertiginosos. Se inicia así lo que se denominaría “La Carrera por el Petróleo”, que se caracterizaría por la búsqueda de pozos, la explotación inmediata y la producción acelerada, lo que conducía al agotamiento prematuro de la producción.

Fue John L Rockefeller, un comerciante del sector de las refinerías, quien dio inicio al sector petrolero moderno. En 1870, él y otros inversionistas más, constituyeron la empresa más poderosa y controvertida de finales del siglo pasado y comienzos del presente, la

Standard Oil Company. La idea de Rockefeller era conseguir la estabilización del sector petrolero haciendo que el negocio del petróleo fuera seguro y rentable pero bajo el control absoluto de su empresa. Así, la empresa funcionaba de acuerdo a los despiadados métodos de la codicia desenfrenada del capitalismo de finales del siglo XIX. Para finales de la década del 70, la Standard controlaba todos los oleoductos y refinerías dentro y fuera de las regiones petrolíferas y adquirió el dominio total sobre el comercio petrolero mundial, arrasando a su paso con cualquier tipo de competencia y absorbiendo a todas aquellas empresas que ponía en peligro sus intereses.

Sin embargo a finales del siglo XIX, un nuevo y poderoso espíritu de reforma, “El Progresivismo”, se estaba gestando en Norteamérica. Sus principales objetivos eran la reforma política, la protección del consumidor, la justicia social, mejores condiciones de trabajo y el control y la regulación de las grandes empresas. Entre estas, por supuesto estaba la Standard Oil Co., que había sido acusada de monopolizar la producción petrolífera. La única manera de controlarlas era a través del sistema político y los tribunales. Pero la Standard se defendió recurriendo a la figura de los “Trustes”, esto es la falsa unión de varias empresas que supuestamente asociadas funcionaban en conjunto y no como una sola empresa, el monopolio era un hecho. La economía norteamericana se había transformado de ser descentralizada y competitiva, compuesta por muchas pequeñas empresas industriales, en otra dominada política y económicamente por grandes combinaciones industriales llamadas trustes, muchas de ellas con inversores y directores compartidos.

Los principales representantes del progresivismo, entre los que destacaban los medios de comunicación, atacaron fuertemente a la Standard, recurriendo al gobierno para que reinstaurase la competencia, controlase los abusos y reintegrase el poder económico y político de los trustes. Así, la problemática fue llevada a los tribunales y en 1909, el Tribunal Federal dictó sentencia a favor del gobierno y ordenó la disolución de la Standard Oil Co. Esta apeló ante el tribunal supremo quien en 1911 confirmó la decisión del Tribunal federal.

Así, la Standard se dividió en varias entidades separadas: la mayor fue la antigua compañía matriz, la Standard Oil of New Jersey, con casi la mitad del patrimonio neto total; con el tiempo pasaría a llamarse EXXON y nunca perdería su posición de líder. La siguiente fue la Standard de Nueva York que pasaría a llamarse MOBIL, la de California, llamada después CHEVRON, de las demás surgieron la SHOIO (que luego sería la rama norteamericana de la BP), la AMOCO, la CONOCO, la ARCO y la SUN. Sin embargo aunque estaban separadas y no compartían sus consejos de administración, generalmente respetaron los mercados de los demás y mantuvieron sus antiguas relaciones comerciales con lo cual la competencia entre ellas se desarrolló con gran lentitud.

En general la empresa petrolera en el mundo se desarrolló igualmente caracterizada por una fuerte competencia por el dominio de los territorios petrolíferos y del mercado mundial, en parte promovido por las políticas despiadadas de la Standard Oil Co.

Como ya se dijo, para 1870 el comercio mundial no solo estaba dominado por un solo estado (U.S.A.) sino por una sola empresa, la Standard. Esta descartaba la posibilidad de

cualquier competencia ya que en ninguna otra parte del mundo se habían encontrado una fuente de petróleo barata e importante.

A finales de siglo, comenzaron a establecerse empresas en el imperio ruso, constituyéndose en la mayor competencia a la que tuvo que enfrentarse con agresividad la Standard sin que pudiera realmente evitar su crecimiento. Las petroleras rusas abrieron mercados en Europa.

A finales del siglo XIX nace otra de las grandes empresas, la SHELL, que en inglés significa concha, en honor al padre de su fundador, Marcos Samuel, quien era un comerciante de conchas.

La rápida subida de la producción rusa, la posición de líder de la Standard Oil, la lucha por los mercados establecidos y nuevos, son algunos de los factores que determinaron lo que se llegaría a conocer como “Las Guerras del Petróleo”. Pero estas no serían las únicas empresas que participarían en esta lucha.

En Estados Unidos, la Standard Oil veía minada su posición dados los nuevos descubrimientos de petróleo en los campos de la costa del golfo y en la zona continental en Texas. Estas nuevas fuentes combinadas con los mercados que nacían con tanta rapidez para el aceite combustible y para la gasolina, abrieron la puerta a una legión de nuevos competidores entre las que estaban la Gulf Oil Company de William Mellon y la Texas Oil Company, TEXACO. Aunque los niveles de ventas habían aumentado para la Standard Oil, el porcentaje de participación disminuía al igual que su control sobre la producción del crudo.

Otra empresa petrolera fue la holandesa Royal Dutch, constituida hacia 1890 bajo el proteccionismo del propio rey holandés Guillermo III. Un acuerdo de asociación entre la Royal Dutch, la Shell y la Bnito (rusa), llevaría a la Royal al puesto de líder frente a las otras empresas europeas. Posteriormente se fusionarían la Shell con la Royal Dutch.

En el medio oriente, la empresa Anglo-Persian, inicio la explotación petrolera en 1901, gracias a la concesión obtenida en Persia y al apoyo del gobierno británico, quien demostró su preocupación porque otras firmas extranjeras obtuvieran el control de la explotación del petróleo en la región, lo cual tendría efectos tanto comerciales como políticos contrarios a los intereses de la Gran Bretaña en Persia. La Anglo-Persian compraría más tarde una empresa comercializadora inglesa cuyo nombre era la British Petroleum, con la cual se daría a conocer mundialmente.

La preocupación de las grandes potencias respecto a cuestiones estratégicas y políticas y la posición relativa frente a otras potencias se haría más evidente en el sector petrolero con la amenaza de la guerra. El petróleo dejó de ser solamente un rico recurso energético, especialmente para el gobierno inglés que ya iniciaba una carrera para cambiar sus buques con propulsión a carbón utilizando el petróleo como fuente de combustible.

Durante la guerra el petróleo se convirtió en un elemento vital que generó nuevas alianzas entre los países comprometidos, en materia de producción y distribución del petróleo y en una condición estratégica para quien tuviera su control. Las firmas petroleras que antes eran

atacadas por los gobiernos debido a los trustes, pasaron a ser importantes socios en las políticas económicas y de guerra de los gobiernos. Así por ejemplo la antes odiada Standard Oil of New Jersey, en cabeza de su director, Alfred Bedford, conformo con otras firmas el Comité Nacional de Servicio del Petróleo en Guerra, encargado de organizar los suministros de petróleo a la guerra en Europa.

El papel del petróleo durante la guerra fue determinante, los alemanes perdieron en gran medida por la insuficiencia para suministrar el combustible necesario para sus aviones y vehículos en tierra. Y los británicos y en general los aliados se encargarían de cortar las posibilidades de suministro.

Después de la guerra y reconocido ya el nuevo papel del petróleo frente a los intereses de las potencias, se dio comienzo a la gran lucha por las nuevas fuentes de petróleo ya no como fuente de riqueza sino de poder. En el futuro, la competencia por los nuevos terrenos petrolíferos ya no se limitaría a una batalla entre emprendedores y agresivos hombres de negocios. La gran guerra había dejado en claro que el petróleo se había convertido en un elemento esencial en la estrategia de las naciones; y los políticos y burócratas estaban ahora en el centro de las luchas arrastrados a la competencia por una idea común: el mundo de la posguerra iba a necesitar todavía mayores cantidades de petróleo para la prosperidad económica y el poder de las naciones.

Durante la posguerra los aliados entraron en franca lucha por la **repartición** de los posibles centros productores de petróleo. Así por ejemplo los franceses y los británicos firmaron un acuerdo (el acuerdo de San Remo) que tenía mutuas concesiones respecto a la explotación del recurso petrolero en la Mesopotamia. Por supuesto, la solidez de los intereses petroleros de los Estados Unidos se vio amenazada con este tipo de tratos que lo dejaban fuera del negocio. Aunque inicialmente se dieron muchas tensiones en las relaciones de los británicos y los norteamericanos, repentinamente los británicos adoptaron una actitud muy conciliadora y se mostraron muy abiertos a su participación en Mesopotamia. Los motivos: intereses económicos y estratégicos con Estados Unidos y preocupación por el sentimiento antibritánico que se había generado entonces. La repartición del planeta en términos petroleros se iniciaba.

La historia de los países latinoamericanos correría la misma suerte que las demás naciones petroleras, se convertirían en el foco de los intereses de las potencias y en el centro de sus luchas.

En México, la Mexican Eagle consiguió las primeras producciones en 1901 comenzando con el fabuloso Potrero del Llano 4, que producía a un ritmo de 110.000 barriles por día y se le consideraba el mayor pozo petrolero del mundo. México se convirtió pronto en uno de los mayores productores del planeta alcanzando el segundo puesto para 1921. Pero el ambiente social y político del país polarizó los intereses de las partes comprometidas dejando de un lado a los nacionalistas y revolucionarios, y a las compañías petroleras de otro. El problema de la soberanía y la propiedad era el tema candente: ¿a quien pertenecían los beneficios del petróleo?

Hasta 1984 los recursos del subsuelo habían pertenecido primero a la corona y

posteriormente a la nación. El régimen de Porfirio Díaz había alterado la tradición legal otorgando su propiedad a los propietarios de las tierras superficiales quienes a su vez aceptaban encantados el capital extranjero que llegó a controlar el 90% de las propiedades petrolíferas del país. Finalmente la revolución logró que en la constitución de 1917 se restableciese el principio de propiedad nacional convirtiéndose en el centro de batalla. México había reconquistado el petróleo pero no podía extraerlo o comercializarlo sin capital extranjero, mientras que los inversionistas no querían correr el riesgo sin tener contratos seguros y la posibilidad de obtener beneficios. Los banqueros norteamericanos mientras tanto estaban interesados en que México cumpliera con los pagos de su deuda externa por lo cual apoyaron sus esfuerzos por obtener mayores beneficios del producto petrolero, en contra de las compañías petroleras de Estados Unidos, quienes llegaron a pedir al gobierno norteamericano que aplicara sanciones e interviniera militarmente para proteger las “vitales” reservas petrolíferas de propiedad norteamericana en México.

Cuando Washington miraba hacia el sur veía inestabilidad, inseguridad, bandidaje, anarquía, incumplimiento de los contratos y una peligrosa amenaza del tráfico de un recurso estratégico. En 1934 llegaría al poder el general Lázaro Cárdenas, hombre de inclinaciones izquierdistas quien fomentó la reforma de las tierras, la educación y un costoso programa de obras públicas. Después de muchas confrontaciones con las empresas petroleras, el 18 de Marzo de 1938, Cárdenas nacionalizó el petróleo mexicano. En su lucha posterior los mexicanos demostrarían al mundo que las compañías petroleras no eran tan omnipotentes como se jactaban de serlo y que los países podían desafiar con éxito su dominio financiero y económico, y que las empresas estatales podían manejar con eficiencia las operaciones petroleras como lo hizo la Compañía Nacional Mexicana de Petróleos, PEMEX, encargada de los yacimientos y refinerías nacionalizados.

El caso de Venezuela sería diferente. Dados los beneficios que se podían obtener, el temor a la escasez y el nuevo papel del petróleo en el poder de las naciones, desencadenaron lo que la Royal Dutch/Shell, denominó en su memoria anual de 1920 “la lucha por la nueva producción... no podemos permitir que nos despojen en esta lucha por obtener nuevos territorios... nuestros geólogos están en todas aquellas partes donde hay la más remota posibilidad de éxito”. Venezuela estaba en la cabeza de la lista. Bajo la dictadura corrupta del general Juan Vicente Gómez, quien durante veintisiete años gobernara Venezuela, las compañías petroleras encontraron un buen ambiente para invertir en exploración. La primera fue la Royal Dutch/Shell que para 1922, después de nueve años de presencia en el país y a pesar de las malas proyecciones dadas por los geólogos norteamericanos a la producción venezolana, comenzaba la explotación de petróleo en el Lago Maracaibo. El descubrimiento del pozo Barroso con una producción de casi 100.000 barriles por día, inauguró una gran fiebre de petróleo. Mas de 100 grupos principalmente norteamericanos y algunos británicos pronto estuvieron activos en el país.

Para 1929, Venezuela producía 137 millones de barriles y ocupaba el segundo lugar después de Estados Unidos en la producción total. El petróleo dominaría hacia los años treinta el 90% de la economía venezolana, haciéndose necesaria, después de la caída de Gómez, una regulación del sector y una revisión de los acuerdos contractuales entre la nación y las compañías que producían su petróleo. Esto desencadenó enfrentamientos entre las partes. El gobierno norteamericano intervino directamente para evitar otro México y

salvaguardar lo que en medio de la guerra era un premio estratégico. Venezuela con un fuerte espíritu nacionalista pero con un sentido práctico de los negocios logro durante el gobierno de Rotulo Betancourt (1945-1947) y siendo ministro de desarrollo Juan Pablo Pérez Alfonso, un razonable acuerdo de beneficios con las petroleras del cincuenta por ciento para ambas partes (aunque ya se había realizado Venezuela solo recibía el cuarenta por ciento). El gobierno venezolano recibió un siete por ciento mas de los que recibió México con la nacionalización y su producción era seis veces mayor.

Uno de los ejemplos más claros de lo que podían hacer las empresas petroleras en el ejercicio de su poder, especialmente frente a débiles y corruptos gobiernos, fue el desarrollo petrolero en Colombia. Las dos principales concesiones del país otorgadas hacia 1905 fueron la de Mares y la Barco. Ambas serían adquiridas hábilmente durante la década de 1910 por las compañías norteamericanas Exxon y Gulf Oil Company respectivamente. La primera explotó ampliamente los yacimientos con el objetivo primordial de exportación sin preocuparse por las necesidades de combustible internas, y la segunda ni siquiera inició la explotación de los yacimientos, sino que los mantuvo como reservas. Así pues Colombia recibía un escaso 10% de regalías por ricos yacimientos que afloraban naturalmente, en contratos que durarían treinta años. Durante la década de 1920, a pesar de la lucha que algunos dirigentes y de los trabajadores petroleros, por obtener un miserable 5% adicional de regalías, las empresas petroleras se mostraron inflexibles y la elite colombiana incapaz de confrontarla dada su posición en favor de los Estados Unidos. Esta actitud se afianzaría aún más durante la década de 1930, cuando asumió Enrique Olaya Herrera para quien las regalías eran asunto secundario. Creía que la clave para sacar a Colombia adelante era rehacerla a imagen de los Estados Unidos, atraer la inversión de sus compañías y obtener los necesarios empréstitos de la banca norteamericana. Y sería esta última conjuntamente con el gobierno estadounidense quienes determinarían las condiciones de las políticas petroleras, al condicionar dichos empréstitos a la aprobación de favorables proyectos de ley hacia las compañías petroleras. En 1931, Olaya Herrera lograba la aprobación de la ley 37 que cubrió a las compañías petroleras con privilegios y beneficios y excluía las cláusulas nacionalistas que aparecían en los proyectos de ley anteriormente presentados por el ministro de minas Montalvo.

La nueva ley reducía las regalías para nuevos hallazgos, disminuía impuestos, eliminaba requisitos y no obligaba a las compañías a presentar informes regulares al gobierno como tampoco a contratar colombianos en cargos ejecutivos. Aún así algunas compañías norteamericanas no quedaron contentas y crearon un ambiente hostil que impidió la entrada de los tan anhelados empréstitos. La reducción de las exportaciones hacia los Estados Unidos, además, obligó a la reducción de salarios y despidos por parte de la Exxon que tenía un monopolio sobre la producción, refinación y distribución colombianas. Se negaba así todas las falsas promesas referentes a la prosperidad que la nueva legislación colombiana habría de traer al país.

La lucha de los trabajadores petroleros y algunos líderes nacionalistas hizo posible en la década de 1940 la creación de una empresa estatal que se encargara de la concesión de Mares cuyo contrato pronto habría de expirar. En 1951, se creó finalmente la Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL, que sería la encargada de regular la producción petrolífera del país sin desprenderse completamente de la influencia de las compañías

extranjeras y del gobierno norteamericano.

La historia del petróleo siempre ha estado caracterizada, en términos de Daniel Yergin, por una “lucha voraz por el dinero y el poder”, en la que los débiles han llevado la peor parte. Las presiones económicas, políticas y hasta militares, el incumplimiento de los contratos, el fomento de políticas petroleras con beneficios unilaterales y de la corrupción en la clase dirigente, así como la afectación del medio ambiente, la cultura y la estabilidad social de los “pequeños” países productores, dejaron profundas huellas en países como los latinoamericanos, buscaron afanosamente una salida a sus problemas económicos en la producción petrolera.

2. ORIGEN DEL PETROLEO

El origen del petróleo se ha tratado de explicar desde dos teorías: la inorgánica y la orgánica. La primera plantea varios tipos de explicaciones según las cuales el carbono, el hidrógeno y otros compuestos pudieron en condiciones diversas y extremas (alta presión y temperatura) reaccionar bajo la superficie de la tierra formando los hidrocarburos específicos del petróleo.

Según la teoría orgánica, los organismos vivos obtienen su energía del sol gracias a los alimentos que consumen. A través del proceso de fotosíntesis las plantas transforman la energía solar en alimento, esta energía es absorbida por los animales cuando ingieren las plantas. En los procesos de descomposición de los animales que mueren la energía es liberada y absorbida por la tierra.

Así sucedió hace miles años, cuando los dinosaurios murieron, los ríos y la lava de los volcanes arrastraron sus huesos al fondo de los mares cubriéndolos de lodo y piedras. Al no obtener estos restos contacto con el aire no se descomponen sino que se transformaron en un líquido negro y aceitoso.

3. YACIMIENTOS PETROLIFEROS

Muchos de nosotros hemos tenido la posibilidad de observar los cambios que durante años se van produciendo en la fisonomía de los paisajes, algunas elevaciones se hacen más planas o bien aumentan su volumen, los suelos cambian su color y grandes cantidades de materiales son arrastrados por las aguas dejando profundas grietas y lavando los suelos. La corteza terrestre es un sistema biofísico y químico en constante cambio en el cual las rocas se transforman constantemente por acción del viento, el agua, los glaciares, los movimientos telúricos, erupciones volcánicas, agentes biológicos y químicos, temperaturas y presiones extremas que los degradan o permiten su formación.

Las lluvias arrastran no solo arenas, arcillas y limos, sino además materia orgánica proveniente de vegetales, animales, algas y otras formas de vida microscópicas, que son transportadas por los ríos hacia el mar, o cuerpos de agua continentales (lagos p. ej.). Allí se mezclan con otras materias tanto inorgánicas como orgánicas y termina sedimentándose en el fondo, esto es se depositan en grandes cantidades formando un manto sedimentario.

Nuevas capas de sedimentos se van acumulando sobre las primeras sometidas a presión y cambios de temperatura que, en conjunto con la descomposición de la materia orgánica por acción de microorganismos, permiten la formación de petróleo y gas. Por supuesto los sedimentos inorgánicos en estas condiciones también sufren cambios en largos períodos de tiempo y terminan compactándose formando lo que los geólogos llaman *rocas sedimentarias*. Cuando estas rocas acompañan la formación de petróleo se les denomina *roca generadora*.

El petróleo se encuentra inicialmente contenido en las porosidades de la roca generadora, pero como todos los líquidos éste junto con el gas buscan alcanzar zonas en las cuales las presiones son más bajas, que son las de estratos más superficiales, a través de rocas porosas a las cuales se les denomina *rocas conductoras*, y al movimiento que experimenta *migración primaria*. Finalmente los hidrocarburos alcanzan rocas muy porosas en las cuales la presión es menor, estas rocas se designan con el nombre de *rocas almacenadoras* y los movimientos producidos dentro de ella *migración secundaria*. Estas rocas se comportan como esponjas empapadas por el petróleo, el gas y en algunos casos por agua que acompaña los depósitos de hidrocarburos. La porosidad de estas rocas es de gran importancia para la ingeniería de petróleos ya que determina la capacidad de acumulación y movilidad de los fluidos. Entre ellas tenemos las areniscas y las rocas carbonatadas.

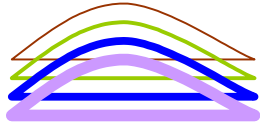
Puede ocurrir que el gas y petróleo alcancen la superficie, bien a través de las rocas porosas, o bien a través de las fisuras y fallas del mismo. Estos afloramientos naturales fueron explotados para diversos usos como ya se explicó y en los casos en los que los gases se inflamaron dieron origen a los fuegos sagrados de la antigüedad.

En la mayoría de los casos sin embargo, los hidrocarburos quedan confinados a la roca almacenadora debido a que esta rodeada por rocas impermeables (*rocas sello* – arcillas, sal, etc.-), que impiden el paso del fluido, sirviendo así como cierre a su migración o desplazamiento. A este obstáculo se le denomina *Trampa* y se les clasifica según el origen de las mismas.

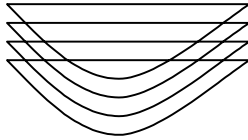
Para entender el origen de las trampas volvamos a la formación de los mantos sedimentarios. Las capas de sedimentos se disponen en capas o estratos que pueden o no ser paralelas, en sentido horizontal o inclinado. Sin embargo, estos estratos se ven sometidos a fuertes presiones debidas a fuerzas propias de la corteza terrestre que llegan a plegar, fracturar o inclinar estas capas. Las más visibles consecuencias de estos movimientos son las elevaciones de los terrenos que pasado mucho tiempo llegan a conformar las montañas. Si el material de los estratos no es muy rígido se formarían ondulaciones o pliegues, de lo contrario tendería a fracturarse formando las llamadas fallas. Igualmente algunos materiales blandos tenderán a desplazarse a través de las fracturas de los rígidos. Podemos producir esta acción experimentalmente colocando capas de arcilla húmeda sobre una superficie una encima de la otra. Posteriormente se ejerce presión desde los extremos de las capas hacia el centro en sentido paralelo y notaremos el plegamiento de las capas. Si dejamos secar el material e intentamos nuevamente ejercer la misma presión, las capas tenderán a fracturarse, desplazándose unas sobre otras.

De acuerdo a la forma final que tome el plegamiento o la falla se denominarán de manera

diferente. Veamos algunos ejemplos:



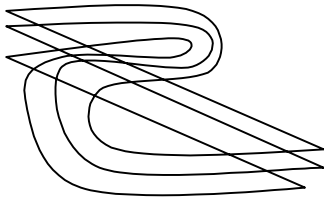
Plegamiento
Anticlinal



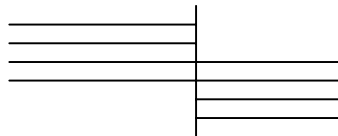
P. Sinclinal



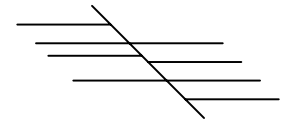
P. Inclinado



P. Tumbado



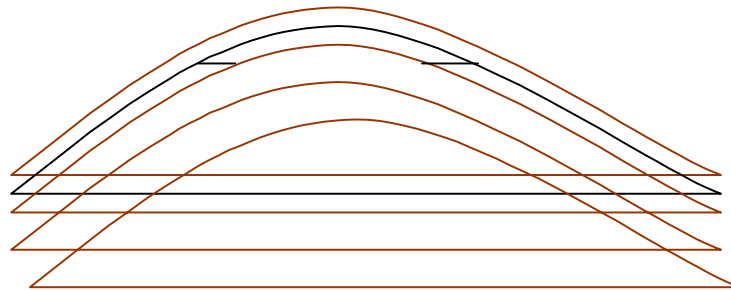
Falla vertical



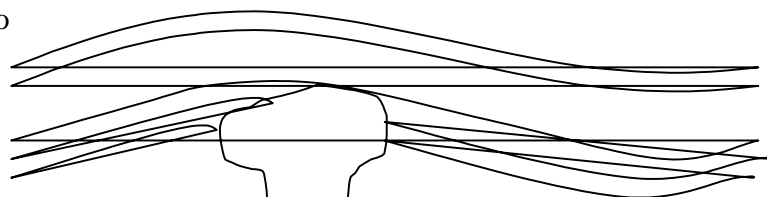
F. Normal

Al formarse estos plegamientos y fracturas las llamadas rocas almacenadoras del petróleo y gas quedan limitadas por capas o materiales de menor permeabilidad o rocas sello. Así pues pueden presentarse los siguientes tipos de trampas:

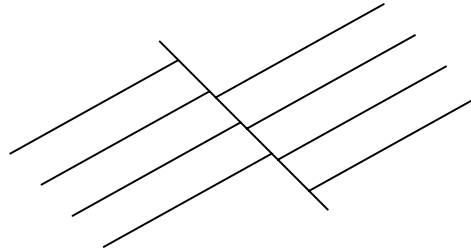
1. Trampa por plegamiento



2. Trampa por domo salino



3. Trampa por fallamiento



Por supuesto estos esquemas son ideales y son muy variadas las formas de los yacimientos de los hidrocarburos. Igualmente el comportamiento de los yacimientos difiere de acuerdo a la composición de los componentes presentes en él. Los depósitos de petróleo pueden estar acompañados de gas, de agua o de los dos. Las diferencias de presión y energía dentro del yacimiento están dadas por la presencia y cantidad de uno y otro. Esto es de gran importancia para la explotación del petróleo ya que la presión y energía contenida en el yacimiento facilita su extracción. El gas puede estar disuelto en el petróleo o bien ocupar la parte superior del depósito debido a su densidad. A medida que la presión disminuye dentro del yacimiento, el gas se expande empujando el aceite a través de los poros de la roca almacenadora, con lo cual se genera una corriente hacia el pozo de extracción, de esta manera puede extraerse entre un 40 y un 75% del total del petróleo originalmente contenido. En muchos casos grandes masas de agua acompañan los depósitos proporcionando energía adicional que posibilita la extracción del petróleo y el gas. El agua se desplaza hacia las zonas de menor presión desplazando el aceite y el gas de la parte inferior del yacimiento con lo cual se produce una fuerza de empuje que mantiene la presión dentro del yacimiento. El rendimiento de explotación en este caso puede llegar a un 85%.

4. EXPLORACION

Una de las funciones del geólogo petrolero es localizar los pliegues del terreno, su tipo y la naturaleza de las capas que lo forman, a fin de descubrir las estructuras favorables del suelo que pudieran haber aprisionado el petróleo. Para esto se han empleado variadas técnicas de las cuales nombraremos aquí algunas.

La búsqueda de petróleo puede hacerse por métodos geológicos de superficie, o por métodos geológicos del subsuelo.

4.1 Métodos geológicos de superficie:

La *observación directa* permite establecer la presencia de filtraciones de gas, petróleo,

asfaltos y ceras (indicios de olor, color de las rocas, silbidos de gas, fuego, burbujeo). También el *análisis químico* del suelo con muestreos a diferentes profundidades indica la presencia de hidrocarburos y los *estudios microbiológicos* determinan si existen microorganismos consumidores de hidrocarburos en el suelo. Las filtraciones son indicaciones cualitativas pero no cuantitativas y tampoco permiten asegurar que el reservorio está ubicado debajo de la filtración.

El *reconocimiento de campo* además de los análisis y registros anteriormente anotados permite descubrir las rocas y suelos expuestos, así como su distribución pudiendo ser registrados en un mapa llamado mapa geológico. De otra parte se miden direcciones e inclinaciones de las capas que dan una idea acerca de las estructuras presentes en el área.

Otra parte esencial de la geología de superficie es la *Fotogeología*. Esta interpreta la geología por medio de fotografías aéreas que indican tipo de vegetación, número y distribución de corrientes de agua, análisis de las expresiones fotográficas de las rocas, inclinación y dirección de las capas etc. Actualmente las fotografías o imágenes pueden obtenerse por avión, satélite o radar, con lo cual se elaboran mapas geológicos muy precisos. El radar, por ejemplo, puede penetrar una densa capa de follaje produciendo así imágenes de la superficie de la tierra. Otra técnica aérea usada es el sensor remoto que montado en un avión o satélite, detecta rayos infrarrojos y revela cuerpos de agua, intrusiones de agua salada, depósitos minerales, fallas, etc.

4.2 Métodos geológicos de subsuelo

Entre estos métodos se destacan los relacionados con la exploración geofísica. Esto es la aplicación de la física en busca de yacimientos. Así tenemos métodos magnéticos, gravimétricos, sísmicos y radiactivos.

El *magnetómetro* puede detectar la presencia de minerales magnéticos como la magnetita, la cual puede ser encontrada en rocas ígneas (procedentes de erupciones volcánicas) pero en muy pocas cantidades en rocas sedimentarias. Las diferencias de lectura permiten determinar la profundidad de las capas y su espesor.

El *gravímetro* registra las variaciones de la gravedad terrestre producidas por masas de diferentes densidades (la densidad es la relación que existe entre el espacio que ocupa un cuerpo y la cantidad de materia que este posee; diremos que un cuerpo es muy denso cuando su materia ocupa el mínimo espacio posible). Por ejemplo los granos de las rocas ígneas están densamente organizados a diferencia de los de las rocas sedimentarias que están más separados. Por lo tanto el gravímetro permite diferenciar los tipos de rocas existentes en el subsuelo.

Los métodos radiactivos usan aparatos sensibles a la radioactividad para detectar directamente la presencia de aceite.

Un método muy usado y que mayores impactos ambientales provoca es el de la *prospección sísmica*. Consiste en crear temblores artificiales mediante la activación de

cargas explosivas a profundidades entre 10 y 30 pies de profundidad o bien mediante la descarga de un gran peso sobre la superficie del suelo o la utilización de un vibrador (vibrosis). La explosión, la descarga o la vibración producen ondas sísmicas análogas a las de los terremotos que se propagan chocando con las diferentes capas de rocas del subsuelo. Las ondas al chocar se reflejan a la superficie con una velocidad e intensidad diferente dependiendo del tipo de roca que encuentran a su paso. Al regresar a la superficie las ondas producen una vibración en unos receptores de alta sensibilidad llamados geófonos, que las registran y recogen en forma de corriente eléctrica transmitiéndose entonces por un cable al camión registrador. Este registro permite establecer el tiempo empleado por cada onda sísmica en llegar a los estratos rocosos, reflejarse y ascender a la superficie. De esta manera se puede determinar el tipo de estrato y la distancia a la cual se encuentra con lo cual se obtiene un mapa indicativo de las estructuras del suelo.

El trabajo de campo de reflexión sísmica consta de varias fases:

- *Topografía y corte de líneas*: Consiste en la ubicación y apertura de picas ecológicas (trocha o líneas de exploración sísmica) dirigidas por un grupo de topografía el cual mediante el uso de topografía convencional (teodolito y jalones) o equipo electrónico que marca las coordenadas por medio de satélite, se encarga de orientar, nivelar la línea y señalar (con estacas de madera y placas de zinc) los puntos de disparo y de estaciones receptoras, de acuerdo con un programa preestablecido. En topografía y corte de línea intervienen diversos trabajadores, dependiendo del terreno explorado y la tecnología empleada, los cuales se establecen cerca de la línea sísmica y construyen campamentos móviles conocidos como volantes.
- *Perforación de pozo sísmico*: Es la apertura de huecos de aproximadamente 10 cm de diámetro y una profundidad variable, denominados pozos; para lo cual se emplean ayudas manuales, mecánicas o neumáticas, de acuerdo con las características del área. Una vez se abre el pozo es necesario mantenerlo, dado que este tiende a derrumbarse por las diversas presiones del subsuelo, para lo cual se utilizan tuberías de PVC como sistema de revestimiento, en cuyo extremo distal se coloca un tapón adherido con soldadura de PVC, con el fin de evitar el llenado del pozo.
- *Detonación y registro*: En los pozos se coloca una carga de explosivos y se extiende luego una red de detonación. En forma conjunta se instala un sistema de geófonos (instrumentos que transforman la energía mecánica del movimiento sísmico en impulsos eléctricos), que permitirán el registro de las ondas sísmicas que se originan una vez se hace detonar la carga de los pozos. Los impulsos eléctricos generados en los geófonos se transmiten a los instrumentos de grabación y reproducción que toman la información y la registran en cintas magnéticas o en registros gráficos de papel.

Una vez terminada la detonación de los pozos, un grupo de recogedores debe recuperar el cable, los geófonos y tapar la línea. En forma alterna se realizan actividades de transporte de materiales, equipos, explosivos y personal, instalación de campamentos volantes, bodegaje, etc.

Toda la información obtenida a lo largo del proceso exploratorio es objeto de interpretación en los centros geológicos y geofísicos de las empresas petroleras. Allí es donde se establece que áreas pueden contener mantos con depósitos de hidrocarburos, cual es su potencial contenido y donde se deben perforar los pozos exploratorios para confirmarlo. De aquí

surgen lo que se llama “*prospectos petroleros*”.

5. LA PERFORACION

Desde tiempos antiguos el hombre se ha visto en la necesidad de cavar y perforar el suelo para acceder a las riquezas del subsuelo entre las que se cuentan agua, la sal y el petróleo. No se sabe exactamente quienes fueron los primeros en usar herramientas para perforar el suelo pero se sabe que hacia el 600 a.c., los chinos usaron herramientas de percusión para cavar pozos de sal. Sus torres eran construidas enteramente de Bambú y un cable sostenía una lanza de metal en el extremo de la perforación. Con movimientos ascendentes y descendentes la punta golpeaba tierra y roca horadando el suelo. Este principio de percusión se utilizó con éxito por siglos con algunas variaciones en el modelo de la torre y herramientas usadas. Posteriormente se combinó el golpe del barreno con un movimiento rotatorio que hizo más eficiente la velocidad de perforación.

Actualmente el método utilizado para perforar es el rotatorio o rotativo que permite llevar la operación a un ritmo acelerado. Consiste en taladrar el suelo por medio de una broca que gira horadando el suelo a medida que va penetrando en él.

El primer pozo que se perfora en un área en la que se sospecha existe un yacimiento, se denomina “*pozo exploratorio*” o pozo de cateo o reconocimiento. De acuerdo con la profundidad proyectada del pozo, las formaciones a atravesar y las condiciones del subsuelo, se selecciona el equipo de perforación más adecuado. El tiempo promedio de perforación se estima entre 2 y 6 meses. La perforación se realiza por etapas de tal manera que el tamaño del pozo en la parte superior es ancho y en las partes inferiores cada vez es más angosto.

El primer paso para iniciar una perforación es la *preparación del área* para acomodar la torre y su equipo. El área se limpia, se nivela y se construyen carreteras de acceso. Los requerimientos de agua hacen necesario que se perfore un pozo o se instalen bombas y tuberías de agua de un río, quebrada o lago cercano. Se construye (o al menos debe construirse) un enorme tanque de desperdicios recubierto con un aislante plástico (geomembrana) que evitara que los materiales contaminantes fluyan hacia zonas adyacentes. Igualmente se procede a preparar la superficie de perforación.

Luego que se prepara el área una torre de perforación portátil puede utilizarse para comenzar la perforación. Esta primera parte del hoyo es de gran diámetro pero pequeña profundidad. Se reviste con una tubería ancha conocida como *caño conductor*. Ahora es tiempo de trasladar el equipo y la torre al lugar de perforación.

El equipo de perforación está compuesto por una serie de elementos que funcionan sincrónicamente a fin de desarrollar tres operaciones principales: a) mantener la broca y la sarta de tubería rotando en el fondo de la perforación; b) descender la broca a medida que va cortando las capas subterráneas y c) sacar las partículas de roca a medida que la broca las corta. Las partes más importantes son: el sistema de energía, la torre, el malacate, la tubería o sarta de perforación, las brocas, el sistema de circulación y el sistema de

cementación.

Motores de combustión interna (generalmente Diesel) son los encargados del suministro de energía necesaria para accionar todos los equipos de perforación. Dicha energía se transmite de forma mecánica o eléctrica dependiendo del tipo de torre.

La torre es una estructura metálica montada sobre la superficie de perforación y constituye el eje operativo del pozo. Esta ensamblada sobre una plataforma de perforación que a su vez se monta sobre una subestructura también metálica. La torre constituye un elemento más del sistema de elevación que como su nombre lo indica permite subir y bajar otras piezas como la sarta, las secciones de tubería, la unión rotatoria, etc. Otras partes de este sistema son el malacate, el bloque de corona, el bloque de aparejo y el cable de acero.

El punto principal de control de la perforación lo constituye el freno del malacate que suelta o recobra el cable de acero de diámetro de hasta 3.8 cm., que sirve para sacar o descender la sarta. El cable se enrolla en el tambor del malacate, de allí sube al juego de poleas fijas que se encuentran en la parte superior de la torre de perforación, desciende al bloque de poleas móviles, asciende nuevamente a las poleas fijas y así sucesivamente hasta completar un aparejo de 4 o 6 poleas, de gran solidez y capacidad para soportar la sarta que puede pesar más de 100 toneladas.

La fuerza de los motores del equipo de perforación se transmite a la mesa rotatoria instalada sobre el piso de la plataforma de perforación y ésta a su vez, la transmite a la sarta de perforación y por consiguiente a la broca. El equipo rotatorio de arriba hacia abajo consta de:

- a) la unión rotatoria o cabeza de inyección, encargada de sostener el peso de la sarta de perforación y permitir que esta gire, además de proveer un pasadizo para que la manguera de lodo inyecte el lodo hacia el interior de la sarta;
- b) una pieza de metal hexagonal o cuadrada conocida como el cuadrante: transfiere el movimiento giratorio de la mesa rotatoria a la sarta de perforación;
- c) la mesa rotatoria;
- d) la sarta de perforación: está compuesta por tubos de perforación y una tubería especial de pared gruesa y peso considerable conocidas como portabarrenas o botellas que se conectan, el primero a la broca y luego unos con otros sucesivamente. El lodo circula a través de las botellas y de la tubería de perforación. Las botellas se ubican en la parte más profunda para darle peso a la broca, este peso presiona la broca para perforar;
- e) las brocas, barrenas o mechas: encargadas de perforar las rocas presentan múltiples y elaborados diseños resultado de años de investigación. Los diseños y materiales en los que son fabricados dependen de la dureza de las rocas que han de atravesar. Para formaciones duras algunas están provistas de una corona de diamantes industriales. El tipo más común para rocas duras y blandas consiste de piezas cónicas, con agudos dientes que convergen hacia el eje de la broca montados sobre cojinetes que aseguran que cada cono gire a medida que va perforando. Todas las brocas tienen pasadizos que permiten la circulación del fluido de perforación.

El sistema de circulación lo constituyen las piscinas de lodo, las bombas de lodo, el tubo fijo, la manguera de inyección, la línea de retorno de lodo o de descarga, la zaranda, el

desarcillador, el desarenador, el desgasificador y las piscinas de deshecho.

La bomba de lodo recoge lodo de los tanques y lo envía a través de una línea de descarga hasta el tubo fijo. Este tubo se conecta a la manguera de inyección, el lodo entra a la cabeza de inyección o unión rotatoria, baja al cuadrante, llega a la tubería de perforación, a las botellas y sale por la broca. Allí recoge las partículas de roca y enfría el trépano y la tubería misma. Al llegar al fondo del hueco vira y sube a la superficie por el espacio anular (espacio que queda entre el hoyo y la sarta de perforación). El lodo sale a la superficie por la línea de descarga y cae sobre un cedazo vibratorio llamado la zaranda vibratoria. Los ripios (partículas de roca y sedimentos) son depositados en una de las fosas de reserva. La restante limpieza del lodo se lleva a cabo en el desarcillador, en el desarenador y el desgasificador, para finalmente retornar nuevamente a los pozos de lodo reiniciándose así el ciclo.

El lodo además de cumplir una función refrigerante y de limpieza, mantiene la presión de las formaciones bajo control, ya que ejerce presión sobre las paredes del hoyo igualando las presiones de las formaciones. Igualmente cubre las paredes del hoyo para que no se derrumben.

El fluido de perforación posibilita la prevención de un reventón, esto es, una erupción o brote de gas aceite o agua salada. El lodo con peso y densidad adecuados no permite que se des controle el pozo. Cuando se presentan condiciones anormales en el fluido de circulación se toman como indicios de la entrada de fluidos provenientes de la formación (situación conocida como cabeceo), y es entonces cuando se toman medidas para evitar una erupción: se conectan los preventores de reventones. Estos se instalan en la cabeza del pozo debajo del piso de la torre. Se trata de válvulas gigantescas que contienen la presión y pueden ser abiertas o cerradas impidiendo el escape de fluidos. Una vez instalados hay que circular el fluido para sacar el cabeceo y reemplazarlo por otro de peso apropiado.

Durante la perforación se están realizando constantes análisis de las muestras tomadas de los ripios y de los bloques de roca extraídos a los que se denominan “corazones” a fin de determinar las características físicas de la roca que se esta atravesando y si hay indicios de hidrocarburos. También se toman registros eléctricos que ayudan a conocer los tipos de formación y las características físicas de las rocas tales como densidad, porosidad, contenidos de agua, de petróleo y de gas natural. En últimas el propósito de todas las herramientas utilizadas incluyendo la perforación misma es la determinación del valor comercial del pozo. Por lo tanto, toda la información que se obtenga respecto a la litología (secuencia y conformación de las formaciones rocosas), porosidad, permeabilidad y saturación es de gran importancia.

Litología: La comprensión de las características básicas de las rocas es fundamental en la evaluación de una formación productora. Como ya se dijo, aunque ocasionalmente se encuentran yacimientos en rocas ígneas o metamórficas, la mayoría se encuentran en rocas de origen sedimentario, cuya formación ya estudiamos en un capítulo anterior.

Las rocas sedimentarias pueden dividirse en dos grandes grupos: clásticas y carbonatos. Los tres tipos generales de rocas productivas de importancia en la industria son arenisca,

caliza y dolomita. La siguiente tabla nos ilustra la relación entre unas y otras:

CLASTICAS	CARBONATOS
Arenas	Calizas
Lutitas	Dolomitas

- Clásticas: Están compuestas principalmente de fragmentos o partículas de minerales, rocas o conchas. Las rocas clásticas productivas son principalmente arenas o silice de grano fino. El tamaño de las partículas varía entre 1 mm. y 1/16 mm. Hay otras rocas clásticas productivas tales como los conglomerados, las cuales están compuestas por partículas de tamaño mucho mayor. La presencia de arcilla o lutita en un yacimiento afecta tanto las características de la formación como la respuesta de los instrumentos de registro.
- Carbonatos: Los carbonatos están compuestos por caliza o dolomita. Las rocas calizas son rocas que contienen un mínimo de 50% de Carbonato de Calcio son blandas y los ácidos las atacan en frío (efervescencia). Pueden dividirse en 4 categorías: *detríticas*, formadas por detritos (sustancia en descomposición) calizos; *orgánicas*, producidas por la actividad de ciertos organismos (corales p. ej.) ó por la acumulación de esqueletos calizos de seres vivos; por último, existen rocas calizas de origen *químico* u *organoquímico*. Las rocas dolomíticas están compuestas por carbonato doble de magnesio y de calcio. Son más duras que las rocas calizas y su color varia de gris o cremosas.

Porosidad: Es en términos de un yacimiento la capacidad que tiene una roca de contener fluidos. En los cálculos la porosidad puede expresarse en porcentaje o en fracción decimal. Por definición, la porosidad es el volumen vacío de roca (aquel lleno de fluidos), dividido por el volumen total de roca:

$$\text{Porosidad} = \frac{\text{Volumen vacío}}{\text{Volumen total}}$$

Respecto a la porosidad podemos enunciar como aspectos importantes en la industria petrolera los siguientes:

- *La porosidad primaria* es consecuencia de los espacios vacíos entre los fragmentos o partículas después de su acumulación como sedimento.
- *El empaquetamiento* se refiere a la configuración geométrica de la distribución de las partículas. Esta configuración puede ser cúbica, rómbica o hexagonal.
- *La selección* se refiere a la variación en el tamaño y forma de las partículas.
- *El cemento* es la sustancia que mantiene juntos los diversos granos o partículas. Muy a menudo es cuarzo o calcita. Una roca bien cementada tendrá una porosidad menor que una mal cementada.
- *La angularidad y redondez* de los granos, junto con la selección y empaquetamiento, afectan la porosidad debido al entrelazamiento de los granos así como el relleno de los espacios vacíos.
- *La compactación* es el grado de alteración del tamaño y forma de las partículas debido a

la presión de las rocas suprayacentes. Es lógico que con el tiempo la sobrecarga reduzca la porosidad.

- *La porosidad secundaria* es muy importante y es consecuencia de agentes geológicos tales como fracturamiento, fisuramiento y lixiviación (disolución o lavado de la roca), durante el proceso de formación de la roca.

La producción de hidrocarburos en rocas tanto clásticas como carbonatos proviene principalmente de porosidades primarias.

Permeabilidad: Es la capacidad de flujo de los fluidos contenidos dentro de una roca. Para que un yacimiento sea comercial es necesario no sólo que la roca contenga petróleo y/o gas, sino que además que estos fluidos puedan desplazarse dentro de la roca y salir a la superficie. Por consiguiente la roca sólo es permeable cuando los poros están conectados.

En general puede decirse que las rocas más porosas con grano de tamaño uniforme tienen una mayor permeabilidad que las menos porosas, y aunque la porosidad pueda ser alta en algunas rocas de grano fino, la reducción en el tamaño de los poros trae como resultado una disminución en la capacidad de flujo dentro de la roca. En consecuencia la permeabilidad disminuye.

Saturación: La saturación en el fluido de una roca es la relación entre el volumen de fluido en los poros con el volumen total de los poros. Las saturaciones se expresan como porcentajes del volumen de los poros. Así, una saturación en agua (S_w) del 30% significa que 3/10 del espacio de los poros está lleno de agua.

Para determinar las condiciones petrofísicas básicas del pozo, esto es,

- Litología,
- Delimitación de las zonas porosas y permeables,
- Identificación de los fluidos en los poros y su saturación,
- Localización de fracturas naturales,
- Determinación de la desviación del pozo y del buzamiento (inclinación de una capa del terreno) de la formación,
- Temperatura del pozo,
- Estimación de la presión en los poros y del gradiente de fracturación,

es necesario llevar a cabo mediciones que permiten analizar en su totalidad una formación, entre las que se cuentan:

- Potencial espontáneo
- Radiación natural gamma
- Resistividad
- Velocidad acústica
- Densidad
- Radiación inducida
- Calibrador (diámetro del pozo)

Examinemos en que consisten estas mediciones. Pero antes es necesario decir que cuando se perfora un pozo con barrena rotatoria y usando lodo de perforación se acostumbra mantener el peso del lodo de manera que exceda la presión de los fluidos que pueden haber en las formaciones que se perforan; en esta forma se evita que los fluidos de las

perforaciones penetren en el pozo y produzcan un reventón. Esta práctica tiene la desventaja de alterar el contenido de fluido de la perforación cerca del pozo (materia de estudio de las mediciones), pues la presión del lodo de perforación hace que este se inyecte (filtración) en la formación y desplace el fluido presente en ella. Este proceso recibe el nombre de *invasión*. Varios factores determinan la invasión en una formación: la pérdida del agua del lodo; diferencia de presión entre las columnas de lodo y del pozo; tiempo de contacto de la formación con el lodo de perforación (a mayor tiempo mayor espesor de la invasión); porosidad y permeabilidad.

De otra parte, los *registros* de pozos no son más que representaciones gráficas de las reacciones de los diferentes instrumentos de medición a medida que descienden en el pozo; por lo tanto, estos registros determinan características (las que se miden) respecto a la profundidad en las que se determinan. En el análisis de los registros es esencial la correcta interpretación de los gráficos por parte del geólogo o ingeniero.

- *El potencial espontáneo*: o curva SP, es una medida de las corrientes eléctricas que se producen dentro del pozo debido al contacto entre diversos fluidos con salinidades diferentes; por consiguiente este registro se usa normalmente en pozos perforados con fluidos cuya base es agua dulce.

Los filtrados del lodo de perforación invaden aquellas zonas que exhiben alguna permeabilidad y en consecuencia generan corrientes; si el lodo de perforación es más dulce que el agua de la formación la curva en la gráfica del registro se desplazara a la izquierda, si las condiciones son contrarias, se desplazara a la derecha al encontrar una zona permeable. Si no se produce una invasión no se generara una corriente y el trazo de la curva será relativamente recto, lo que indicara una zona impermeable. Igualmente cuando la salinidad es la misma para el agua de formación y el lodo de perforación, no se genera curva SP

- *Curva de rayos gamma*: Cuando las condiciones en el pozo son tales que no se puede obtener una curva SP (por ejemplo: cuando se perfora con fluidos inertes o con aire), o cuando esta no ofrece resultados definitivos, se corre una curva de rayos gamma. Esta puede obtenerse en un pozo entubado lo cual no puede hacerse en el caso de la curva SP. La curva de rayos gamma es una medición de la radiación natural de la formación y generalmente refleja el contenido de arcilla o lutita de las rocas sedimentarias ya que los elementos radiactivos tienden a concentrarse en aquellas. En otras palabras, la curva de rayos gamma permite diferenciar entre lutitas y posibles rocas almacenadoras, es decir, se puede utilizar para determinar la litología.
- *Resistividad*: Puede definirse como la capacidad que una sustancia tiene de resistir o impedir el flujo de una corriente eléctrica. Es una propiedad física de la sustancia independiente de la forma o tamaño de la misma. En las rocas de los yacimientos los minerales sedimentarios que componen la matriz no conducen corrientes eléctricas (no conductores), y por consiguiente, el flujo de corriente esta asociada con el agua contenida dentro de los poros. Las mediciones de resistividad del agua en conjunción con la porosidad se usan en los cálculos de saturación en agua, y en consecuencia, en la saturación en hidrocarburos. Existen cinco variables que afectan la resistividad de la

formación: concentración de sal en el agua (la hace mas o menos conductora), temperatura del yacimiento, porosidad, litología y saturación en agua.

El registro eléctrico es el registro básico y más comúnmente usado hasta mediados de los años cincuenta, para medir la resistividad, cuyos valores se obtienen mediante la caída del voltaje entre dos electrodos (uno de corriente y otro receptor) que se envían pozo abajo. Existen varios tipos de registros eléctricos que finalmente permiten obtener información respecto a la resistividad y que son usados dependiendo de las condiciones del pozo.

- *Registro de velocidad acústica:* Mide la velocidad del sonido en la formación permitiendo determinar su porosidad. El instrumento acústico contiene un transmisor y dos receptores. Cuando se activa el transmisor, la onda acústica se transmite por la columna de lodo, entra en la formación, regresa a la columna de lodo y se registra en los receptores. La diferencia de velocidades entre la emisión y la recepción del sonido da un indicativo del volumen en los poros.
- *Registro de densidad:* El registro de densidad compensada mide la densidad de los electrones en la formación mediante una fuente química de rayos gamma y dos receptores sellados de dichos rayos. El número de electrones que puede transmitirse de la fuente a los receptores, es proporcional a la densidad de la formación. Así, se obtienen valores de densidad alta para formaciones con baja porosidad y viceversa. A medida que aumenta la densidad menos rayos llegan al receptor, lo cual es un indicativo de baja porosidad.
- *Radiación inducida:* Se obtiene bombardeando la formación con neutrones que se mueven a gran velocidad. Los neutrones son partículas eléctricamente neutras cuya masa se aproxima a la masa del núcleo del hidrógeno. Al chocar con uno de los núcleos de hidrógeno presentes en el fluido de la formación, puede ser capturado por cualquiera de los elementos presentes, emitiendo un rayo de origen secundario que puede ser registrado. De esta manera, el registro de neutrón mide la cantidad de hidrógeno presente en la formación. En general permite determinar la porosidad en relación con la densidad para zonas lutíticas (con alto contenido de agua) y zonas ricas en gas (con bajo contenido de hidrógeno).

El objeto primordial de los registros de pozos es ayudar en la localización de rocas ricas en petróleo o gas. Los registros sirven además para obtener datos necesarios para planear las operaciones de terminación del pozo y estimación de las reservas.

El procedimiento a seguir por el ingeniero o geólogo es el siguiente:

- Correr un registro base (generalmente de resistividad) que se correlaciona con los registros de los pozos circundantes.
- Se examinan cuidadosamente aquellas curvas del registro que indican litología o tipo de formación a fin de identificar las zonas que podrían contener la porosidad y permeabilidad esenciales para un yacimiento comercial. Posteriormente se evalúan las anomalías de la resistividad en estas zonas a fin de localizar posibles acumulaciones de

- petróleo o gas.
- Una vez obtenidos los registros de litología, resistividad y porosidad, el analista tiene a mano los datos necesarios para proceder con los cálculos de los valores para porosidad y saturación. La combinación de estos datos con la información geológica provee una base para la determinación del valor comercial del pozo.

6. PRODUCCION

Terminada la etapa de perforación del pozo y comprobada la existencia de acumulaciones de hidrocarburos se procede a la extracción del recurso. Se inicia con la adecuación de la tubería por la cual se transportara el petróleo y/o gas hasta la superficie. Se instala entonces la tubería de revestimiento la cual varía de acuerdo con las características del yacimiento. Una vez se ha revestido el pozo (pueden ser varias capas de tubería de revestimiento), se procede a la cementación; esto es, se inyecta cemento especial a través de la misma tubería el cual se desplaza en ascenso por el espacio anular (espacio entre la tubería y el hoyo) donde se solidifica. Al terminar la operación el pozo queda totalmente entubado lo que garantiza su consistencia y facilitara su extracción. Posteriormente se procede a perforar la tubería de revestimiento en los sitios donde se encuentra el yacimiento, a fin de permitir que los hidrocarburos fluyan hacia su interior. Esto se hace con una herramienta llamada cañón, la cual contiene una serie de proyectiles que se disparan eléctricamente desde la superficie.

Dentro del revestimiento se instala otra tubería de menor diámetro que se conoce como “tubing” o tubería de producción, que es en definitiva por la que se conducen los hidrocarburos a la superficie. Esta tubería se encuentra suspendida en la cabeza del pozo con colgadores especiales.

La delimitación de un campo se logra por medio de perforaciones adicionales al pozo exploratorio que se conocen como pozos de desarrollo o pozos de avanzada. Estos permiten delimitar la extensión del yacimiento y calcular el volumen de hidrocarburo contenido en este, así como la calidad del mismo y los requisitos de tratamiento productivo.

Con base en los anteriores análisis se procede al diseño y construcción de las instalaciones de superficie (facilidades de superficie) requeridas para la extracción del crudo: de producción, tratamiento, almacenamiento y transporte. En conjunto se denominan a estas instalaciones como Estaciones de recolección, y están conformadas por los siguientes equipos:

. Separadores: Los fluidos son bombeados desde el pozo o pozos a una batería de tanques en los cuales se lleva a cabo la recuperación de sus componentes. Es así como entran en un proceso de separación que puede darse por medios químicos, administrando desemulsificantes que fraccionan los fluidos del componente inicial y facilitan su separación; por medios mecánicos, aislando los componentes de la mezcla por cambios de presión; por medios térmicos, separando los gases y el agua del petróleo por medio de evaporación; o bien por medios eléctricos, sometiendo la emulsión a un campo eléctrico de corriente alterna o continua de alto potencial.

Culminada la separación, cada componente tiene un tratamiento especial: los gases obtenidos del proceso de separación se tratan para retirar las sustancias que las acompañan, como el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de carbono conocidos como gases agrios. El agua pasa por los desnatadores o separadores de aceite constituyendo las aguas residuales de la producción petrolera. El petróleo obtenido pasa a los tanques de almacenamiento.

El agua de formación tiene niveles muy altos de salinidad y contenidos importantes de metales pesados además de presentar elevadas temperaturas. La práctica tradicional en los países tropicales es verter esta agua al medio ambiente, las mismas que llegan eventualmente a los cuerpos de agua. Los organismos de agua dulce son impactados negativamente por la presencia de estos contaminantes.

. Tanques de almacenamiento: son estructuras metálicas de diferentes capacidades y cuyo número varía de acuerdo a la producción del campo. La tubería de llenado entra al tanque por la parte superior y está provista de una válvula que controla el flujo. En la parte superior tiene un dispositivo que permita la salida de gases a la atmósfera cuando la presión suba por efecto del calor.

. Tratadores térmicos: Ayudan en el proceso de separación del agua.

. Bombas de transferencia: Despacha el crudo entre estaciones del mismo campo a los oleoductos.

. Tuberías de flujo: Tubería que conecta a los pozos con la estación.

Delimitado el campo, construidas las estaciones de superficie, realizadas las pruebas de producción y determinada la calidad del crudo, se inicia el proceso de extracción. Es la energía del yacimiento la que define que el campo produzca por flujo natural o por medio de mecanismos.

Si el pozo tiene energía propia, generada por la presión subterránea, este saldrá por sí solo. En este caso, se instala en la cabeza del pozo el llamado equipo de superficie que consta de la cabeza del tubing, medidores de flujo y presión y válvulas que regulan el paso de los hidrocarburos, conformando un conjunto al que se denomina "árbol de Navidad". Si no existe esa presión, se emplea el balancín o machín, el cual mediante un permanente balanceo acciona una bomba en el fondo del pozo que succiona el petróleo hacia la superficie. A este proceso de extracción se le denomina de recuperación primaria pero también puede hacerse por recuperación secundaria, para el caso de los pozos sin presión natural mediante la inyección de gas, agua o vapor, que se hace por el mismo pozo productor o por intermedio de pozos inyectoros.

Cuando el pozo empieza a extraer petróleo, se realiza de manera regular cada año o dos veces al año, el reacondicionamiento de los pozos, cuyos desechos son colocados en las piscinas. Estas piscinas pueden tener filtraciones o ser lavadas pudiendo llegar a los cuerpos de agua todo tipo de sustancias tóxicas. Igualmente los cuerpos de agua son contaminados por derrames de petróleo accidentales, provocados (terrorismo) o por malas prácticas rutinarias (goteos p. ej.).

7. TRANSPORTE

Una vez se obtiene el petróleo y el gas son llevados a las refinerías o puertos de exportación el primero, o bien a las plantas de tratamiento para aprovecharlo en el mismo campo y/o despacharlo a los centros de consumo el segundo.

En el caso del petróleo el medio de transporte más utilizado es el oleoducto pero también pueden usarse carrotanques, ferrocarril y las barcazas en los ríos. El oleoducto consiste en una línea de tubos de acero unidos a lo largo de un trayecto determinado desde el campo productor hasta el punto de refinación o embarque. Su capacidad de transporte varía y depende del diámetro de la tubería: a mayor diámetro mayor capacidad. La línea puede ir sobre la superficie o bajo tierra. Existe una estación de bombeo en su inicio que impulsa el petróleo y de ser necesarias otras estaciones son puestas a lo largo del trayecto. Igualmente válvulas de control de flujo son puestas en diferentes puntos para atender posibles situaciones de emergencia.

El gas natural se transporta en idénticas circunstancias, pero en este caso la tubería se denomina gasoducto.

8. REFINACION

Que es el petroleo?

Los **elementos** que constituyen casi exclusivamente el petróleo son el carbono y el hidrógeno. Un elemento es una sustancia simple que no puede descomponerse en sustancias más simples. Están constituidos por átomos, así tenemos el carbono (C), el hidrógeno (H), el nitrógeno (N), el potasio (K), etc. Cada uno presenta propiedades químicas que los diferencian de otros elementos. Sin embargo, al combinarse dos o más elementos se forma un **compuesto** que no tiene ni las características ni el comportamiento que presentan individualmente sus elementos constituyentes. Así por ejemplo, la sal es un compuesto constituido por un átomo de cloro (Cl) y uno de sodio (Na). Individualmente el sodio es un metal y el cloro es un gas venenoso que fue usado como arma durante la primera guerra mundial, pero combinados forman una sustancia comúnmente usada en el hogar. Los elementos pueden combinarse en muy diversas proporciones produciendo una gran variedad de compuestos.

Cuando dos o más compuestos se mezclan puede ocurrir una reacción química en la cual se combinan los compuestos dando origen a un nuevo compuesto que difiere en sus propiedades a las de sus precursores. Pero también puede ocurrir que no se presente una reacción y el resultado será una simple **mezcla**.

El petróleo crudo no es un elemento ni un compuesto sino una mezcla de compuestos que

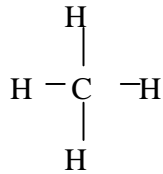
varían mucho en cuanto a clase y proporción. Es por esto, que no existen dos crudos iguales en el mundo. Algunos contienen pocos compuestos, otros pueden contener miles de ellos. Otros compuestos presentes en el petróleo que determinan también sus características a pesar de su bajo contenido (los hidrocarburos pueden representar hasta un 98% de los compuestos del petróleo) son los oxigenados, los de azufre, los nitrogenados y los metálicos.

Los compuestos pueden representarse mediante una **fórmula química** en la que se usan los símbolos de los elementos que lo constituyen y el número en el que se encuentran en dicho compuesto. En el caso del agua por ejemplo, la fórmula química es: **H₂O**
Esto indica que la molécula del agua está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. También puede representarse el compuesto indicando la forma en que sus átomos están unidos y entonces hablamos de una **fórmula estructural**: **O H**
H

Ya dijimos que el petróleo es una sustancia esencialmente constituida por hidrógeno y carbono que combinados forman compuestos a los cuales los químicos denominan **hidrocarburos**. Estos compuestos pueden ser de variadísimas clases dependiendo de la proporción de cada elemento presente en el compuesto. Así será diferente el Pentano, un hidrocarburo que contiene cinco átomos de carbono y doce de hidrógeno, C₅H₁₂, del Octano, C₈H₁₈, y del Hexacontano, C₆₀H₁₂₂. Pero no solo la proporción de los elementos determinan las propiedades del compuesto, también lo hace la estructura, esto es la forma en la que los átomos de la molécula se hallan organizados y unidos entre sí. Por ejemplo, los átomos del heptano, una molécula constituida por siete átomos de carbono y quince de hidrógeno, pueden organizarse de nueve maneras diferentes, es decir, existen nueve heptanos cada uno con propiedades particulares.

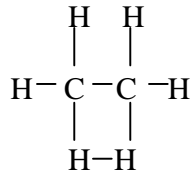
Los átomos de los hidrocarburos pueden organizarse de manera abierta, pensemos en una cadena de personas que unidas de las manos (enlaces) pueden tomar diferentes posiciones en el espacio pero cuyos extremos nunca se unen, y en este caso recibe el nombre de Serie Acíclica; o bien de manera cerrada, esto es forman un anillo (en alguna parte de la fila) organizando una cadena cerrada y la denominamos Serie Cíclica. También puede ocurrir que la fila de personas presente ramificaciones o que se enlacen con las dos manos y no con una sola mano. En el caso de los átomos el número o posibilidades de enlaces varían de uno a siete, pero el átomo del carbono solo tiene cuatro posibilidades de enlazarse con otros átomos (pensemos en personas con cuatro brazos). Cuando todas estas uniones tienen lugar a través de enlaces únicos, es decir, cuando cada brazo (enlace) une al átomo con otro átomo decimos que el compuesto está saturado y es un compuesto estable. Si por el contrario uno o más de estos enlaces no está saturado decimos que es insaturado y por lo tanto es un compuesto inestable. Veamos algunos ejemplos:

Metano



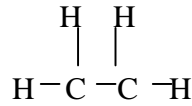
Saturado

Etano



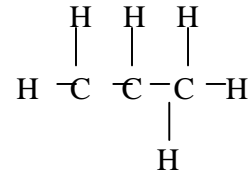
Saturado

Etileno



Insaturado

Propileno



Insaturado

De acuerdo con lo anterior los átomos de los hidrocarburos que encontramos en los petróleos pueden organizarse en formas y cantidades diferentes lo cual les dará propiedades particulares a cada uno. Pueden así distinguirse varias series o familias de hidrocarburos:

Parafinas

Cadenas de carbono sin ramificaciones

Iso-parafinas

Cadenas de carbono ramificadas

Oleofinas

Cadenas de carbono con dobles enlaces insaturados

Naftenos (parafinas ciclicas)

Cinco o seis átomos de carbono en un anillo

Aromáticos

Seis átomos de carbono en un anillo con tres dobles enlaces conjugados

Los hidrocarburos parafínicos también son llamados saturados o del metano y los nafténicos cicloparafinas, cicloalcanos o asfálticos. De acuerdo con las relativas cantidades de ceras parafínicas o asfálticas contenidas en los petróleos, estos se clasifican en:

- . Petróleos de base Parafínica
- . Petróleos de base Mixta
- . Petróleos de base Asfáltica

En su estado natural, la apariencia de los petróleos varía desde un líquido claro blanquecino de consistencia muy liviana, a un color castaño o verdoso, hasta llegar a un material asfáltico pesado casi sólido de coloración negra. El color y otras propiedades varían de acuerdo al tipo de hidrocarburos que contenga el crudo, y los hidrocarburos diferirán, como ya se dijo, de acuerdo al número de átomos de carbono y la forma que estos se organizan. A medida que el número de átomos de carbono aumenta, el compuesto se hace más pesado y el punto de ebullición y el peso específico aumentan también. Los compuestos hidrocarbonados con más de 17 átomos de carbono son sólidos a temperatura ambiente y presión atmosférica. El hecho de que cada hidrocarburo tiene un punto de ebullición diferente, constituye el principio de la separación física del petróleo por medio de la **destilación**.

El petróleo es una mezcla de materiales muy compleja. El aceite crudo puede contener miles de sustancias diferentes. El petróleo puede ser procesado para producir las variedades de productos deseables, tales como el aceite combustible y la gasolina. Cada sustancia en el petróleo reacciona de manera distinta, y cada sustancia puede producir productos diferentes. Por esta razón los procesos de separación son muy importantes en las refinerías

y la destilación es sin duda alguna el proceso de separación más importante.

Cuando una mezcla de líquidos con diferentes puntos de ebullición es calentada y hervida, los líquidos con menor punto de ebullición hervirán primero pasando antes que los otros a estado gaseoso. Luego ebullicirán consecutivamente los líquidos que requieren mayor temperatura para alcanzar el punto de ebullición. Así tendremos diferentes fases que pueden ser separadas físicamente unas de otras. Sin embargo, si dos líquidos diferentes tienen el mismo punto de ebullición, entonces la destilación no podrá ser usada para separarlos.

La destilación de los hidrocarburos se lleva a cabo en las torres de destilación de las refinerías. El proceso básicamente es el siguiente:

El crudo que ha llegado a la refinería a través del oleoducto o de cualquier otro medio de transporte es llevado a tanques almacenadores y de allí a un tanque desalador, donde le quitan la sal que le acompañe. De aquí pasa a través de un horno, donde se calienta a temperaturas de hasta 400 grados centígrados y entra seguidamente a la torre de fraccionamiento o destilación primaria o atmosférica en forma de vapor y de líquido. En esta torre que opera a una presión cercana a la atmosférica, se cumple el primer fraccionamiento de varios de sus componentes por métodos físicos. En su interior, la torre esta dividida en varios compartimentos con diferente temperatura cada uno, así la temperatura en la parte inferior de la torre es más elevada que en la superior. Estas divisiones se llaman bandejas o platos de fraccionamiento.

Al entrar el crudo en forma de vapor, asciende por entre las bandejas y se va depositando en cada una de ellas según el grado de temperatura al cual se enfrían los vapores. Los más livianos o volátiles van a la parte superior como gases y los menos livianos quedan como líquidos en las diferentes bandejas. En el fondo de la torre cae el crudo reducido del petróleo que no alcanza a evaporarse en esta fase. A todo este proceso se le denomina destilación primaria. A cada bandeja de la torre están conectados ductos que recolectan los diferentes productos que pasan inmediatamente a plantas donde tienen nuevos procesos con el fin de obtener un mayor número de derivados, más refinados y de mejor calidad. Así por ejemplo, los gases que salen por la parte superior de la torre primaria o atmosférica van a la planta recuperadora de vapores; la nafta a las plantas de aromáticos y de mezclas; los gasóleos livianos a la de ruptura catalítica, y el crudo reducido a la destilación al vacío.

El residuo se somete a la destilación al vacío para producir lubricantes y otros productos pesados. Al calentarse a temperaturas altas el petróleo tiende a desintegrarse, lo que daña la calidad del producto requerido. Para evitarlo, se destila a presión inferior o al vacío, lo cual permite la destilación a temperaturas más bajas. El residuo es calentado en un horno y la mezcla de líquido y vapor que se forma se hace pasar por una columna de fraccionamiento al vacío. El residuo que se recoge en el fondo de la columna puede ser usado como asfalto. Una parte de las fracciones más ligeras salen en forma de vapor y pasa a través de un condensador o enfriador. Allí se obtiene gasoil acabado y gas que alimenta los eyectores para mantener el vacío dentro de la torre.

A fin de aumentar el rendimiento de cada derivado del petróleo, se desarrollo la técnica del

cracking, en español craqueo o cascado, esto es el rompimiento o fraccionamiento de moléculas complejas para obtener otras de peso molecular menor y por consiguiente, más sencillas. El craqueo se lograba en un principio solo por la acción del calor (craqueo térmico), actualmente se logra un mejor resultado adicionando al petróleo que se desea disociar sustancias especiales llamados catalizadores. Un catalizador es un agente acelerador de una reacción química sin tomar parte en la reacción misma. Las ventajas del procedimiento de desintegración catalítica sobre el proceso térmico son su mayor rendimiento en gasolina y la mejor calidad de esta.

Los derivados que se producen en las refinerías tienen entre otras, las siguientes aplicaciones:

Gas propano:	Se utiliza esencialmente como combustible doméstico.
Gasolina motor:	Se consume en los vehículos automotores de combustión interna
Gasolina de aviación:	Es el combustible para aviones con motores de combustión interna
Bencina industrial:	Se usa como materia prima para la fabricación de disolventes alifáticos, o como combustible doméstico
Cocinol:	Es un combustible de uso doméstico para cocción de alimentos
Queroseno:	Se utiliza en estufas domésticas, en quemadores de hornos y secadores industriales
ACPM:	Se usa como combustible para motores Diesel
Combustóleo:	O fuel oil. Es un combustible para hornos y calderas industriales
Disolventes alifáticos:	Sirven para la extracción de aceites, pinturas, pegantes y adhesivos; para la elaboración de thinner; para producir gas para quemadores industriales; para la elaboración de tintas, formulación y fabricación de productos agrícolas, productos de caucho, ceras y betunes, y para limpieza en general
Asfaltos:	Se utiliza para la construcción y conservación de carreteras y como material sellante en la industria de la construcción
Alquitrán aromático:	Se utiliza como materia prima para la elaboración de negro de humo en la industria de llantas y como diluyente.
Acido nafténico:	Sirve para preparar sales metálicas tales como naftenatos de calcio, cobre, zinc, plomo, cobalto, etc. que se aplican en la industria de pinturas, resinas, poliéster, detergentes, tensoactivos y fungicidas.
Benceno:	Sirve para fabricar ciclohexano.
Tolueno:	Se usa como disolvente en la fabricación de pinturas, resinas, adhesivos, pegantes, thinner y tintas; y como materia prima del benceno.
Xilenos mezclados:	Se utiliza en la industria de pinturas, de insecticidas y de thinner
Ortoxileno:	Es la materia prima para la producción de anhídrido ftálico
Ciclohexano:	Es la materia prima para producir caprolactama y ácido

	adípico con destino al nilón (nylon)
Alquilbenceno:	Se usa en la industria de detergentes en polvo, líquido y barra; para elaborar plaguicidas, en la industria de curtiembres y la fabricación de ácidos sulfúricos
Bases lubricantes:	Sirven para la producción de los aceites lubricantes para automotores y máquinas industriales
Ceras parafínicas:	Sirven para producir velas y similares, ceras para pisos, fósforos, papel parafinado, vaselinas, etc.
Polietileno de baja densidad:	Sirve para la producción de un sin numero de bolsas y productos de plástico.
Azufre:	Se utiliza para la vulcanización del caucho, fabricación de algunos tipos de acero y preparación del ácido sulfúrico entre otros
Gas natural:	Es un combustible de uso doméstico, industrial y para generación de electricidad
Turbo combustible Jet-A:	Esta diseñado para ser utilizado como combustible en aviones con turbinas a propulsión
Crudo Castilla:	Se utiliza como combustible industrial en hornos, secadores y calderas

9. PERFORACION MARINA

Los objetivos y muchos de los métodos de la perforación costa-afuera, son los mismos que para la perforación de pozos en tierra, pero la complejidad es mayor, el equipo y los gastos son más costosos y mayor personal es requerido.

Exploración:

Los principios geofísicos usados en la localización de áreas del fondo marino donde es probable encontrar petróleo, son los mismos que los usados en tierra. Sin embargo, los métodos de aplicación son diferentes. Por ejemplo, en el trabajo sismográfico los barcos son usados para transportar el equipo de registro y por supuesto los geófonos no están colocados en la superficie de la tierra, siendo remolcados o puestos en flotación. Cargas de profundidad son empleadas para producir las ondas de choque pero la explosión se lleva a cabo en bolsas de explosión lo cual reduce (no elimina) el impacto sobre el medio ambiente marino.

Dependiendo del cuerpo de agua en que sé este trabajando, las condiciones del clima en el área y los costos involucrados se establecerán las opciones a seguir y el tipo de equipo que debe ser utilizado.

En aguas poco profundas una torre montada sobre una barcaza puede ser usada. Las barcasas difieren de los barcos en que aquellas no tienen autopropulsión y deben ser remolcadas. Su diseño permite trabajar en aguas poco profundas, bahías o estuarios, pero en aguas profundas se ven afectadas por el movimiento. El equipo incluye la torre de perforación, fuentes de energía, y equipos de control y de medida, además de cuartos para

la tripulación. Los servicios complejos tales como cementación, pueden ser prestados por otras barcasas o barcos especialmente equipados para ese propósito.

Para operaciones en aguas profundas puede usarse un barco de perforación. Este permanentemente tiene montada una torre de perforación en la mitad del buque donde el casco presenta una abertura llamada “*moonpool*”. Tales buques pueden ser usados en perforaciones en aguas entre 5.000 y 20.000 pies.

Las Plataformas permanentes son estructuras generalmente usadas en aguas relativamente poco profundas. Montadas en tierra firme, pueden ser transportadas a los sitios de perforación y ancladas sobre el piso marino quedando la plataforma por encima del nivel de las olas del mar.

Los semisumergibles son navíos construidos sobre patas o estructuras que posibilitan su flotación sobre el sitio en el cual se va a perforar. Su talla varía con la profundidad del agua y el clima del área en la cual se va a perforar. Una vez se ha completado la perforación el semisumergible puede ser movido a otro lugar.

Las adversas condiciones del Mar del Norte llevaron a desarrollar una nueva manera de pensar las bases de las torres de perforación marinas. No solo son diseñadas para trabajar a la profundidad requerida (500 pies o más), sino además para soportar las extremas condiciones impuestas por olas mayores a 60 pies de altura y vientos de 90 nudos. Su construcción se inicia en el muelle y posteriormente se lleva al agua donde se van adicionando las enormes torres que la soportan. Una vez finalizado se remolca hasta el sitio donde se va a perforar. En total pueden llegar a pesar casi un millón de toneladas y superar los setecientos pies de altura.

10. PETROLEO Y MEDIO AMBIENTE

El petróleo y el ser humano

La actividad de la industria petrolera ha significado en nuestros países tropicales la destrucción del medio ambiente, explotación de pueblos indígenas y culturas locales y pérdida de identidad nacional. La industria petrolera no ha representado ningún beneficio de carácter general para nuestros países y por el contrario ninguna cifra económica es suficiente para compensar el enorme daño que se causa al planeta.

Los tipos de impactos generados por la industria petrolera son amplios en cuanto al sector afectado y en cuanto al tipo de afectación. Con la marcada tendencia ecologista de las últimas dos décadas se ha vuelto la mirada a la problemática ambiental representada en los daños causados a los diferentes ecosistemas naturales del planeta, así como a la calidad de vida. No menos importante resulta la problemática social y cultural, asociada tanto a las dependientes necesidades de los productos del petróleo, como a las deshumanizadas y agresivas políticas de las empresas petroleras que en su afán de lucro y promulgación de poder, respaldado por los intereses de grandes potencias a quienes representan, promueven la corrupción de las elites de los países productores, manipulan la información, fomentan

planes y programas gubernamentales acordes con dichas políticas sin tener cuenta las necesidades internas de los países petroleros en desarrollo, y los despojan de sus riquezas naturales sin justa retribución, tanto como de su identidad nacional.

Los desmanes de las empresas petroleras gestaron nuevas formas de relación entre las distintas esferas sociales de los países productores. Polarizaron intra e intergrupalmente a los sectores económicos y políticos, industriales, comerciantes, académicos, militares, campesinos, indígenas; al crear intereses económicos particulares, fomentar el poder de unos sobre los otros, patrocinar los desmanes de la clase dirigente o de dictadores dispuestos, unos y otros, a entregar sus países al saqueo de sus riquezas a cambio del mantenimiento de su condición poderosa frente a sus iguales nacionales, en últimas crear inestabilidad interna en detrimento de los intereses de los países pobres a fin de obtener los grandes beneficios que genera la industria petrolera no solo, como ya se dijo, a las empresas del sector, sino a los países que controlan su manejo en el mundo.

Con pocas excepciones, los llamados países del sur han tenido que escribir su historia petrolera con el dolor de un balance en rojo, no solo por las pérdidas económicas, sociales, ambientales y culturales sino además por la pérdida de vidas humanas que, inmersas en el fuego cruzado de los intereses, caen víctimas de su desaforada y salvaje codicia. El caso de Nigeria y la Shell ilustra perfectamente este hecho: *“Cuatro décadas de operaciones de Shell en el delta del Níger han dejado el medio ambiente convertido en un desastre; muchos de sus habitantes han muerto, han sido torturados y despojados de sus casas por exigir el cumplimiento de sus derechos. Shell ha obtenido sus ganancias con el alto costo de la vida humana y su dignidad... Actualmente, las oficinas centrales de Shell están siendo enjuiciadas en los Estados Unidos por los delitos cometidos en Nigeria. Los cargos incluyen ejecuciones sumarias, torturas, muertes injustificadas y crímenes de lesa humanidad”*.¹

La problemática social que genera la industria petrolera se remonta a sus orígenes: los países petroleros, incluyendo a los Estados Unidos, vieron como la fiebre del petróleo transformó la vida de sus gentes quienes habidos de riqueza fácil o de oportunidades de trabajo, abandonaban los campos de cultivo verdor para arraigarse en campos petroleros de oscuros horizontes. *“... primero los hombres, detrás de ellos las mujeres, sus hijos. Quedando solo los viejos al frente de las cosechas, del pastoreo, del ordeño, de las artesanías y modestas industrias que se habían venido consolidando...”*² Los cinturones de miseria, crímenes, la prostitución, el alcoholismo, solo son algunos de los males sociales que acompañaron la movilización de los campesinos, con la consiguiente alteración de las culturas nativas y el fomento de la segregación racial.

El balance venezolano expresado en términos de Arturo Uslar Pietri, resulta muy disiente si se tiene en cuenta las aparentes riquezas que generó el petróleo en ese país: *“en un país de modesta dimensión económica y social, principalmente agricultor y campesino, atrasado pero sano en lo esencial de su estructura, irrumpió el inmenso torrente de la riqueza*

¹ En Informe anual independiente. Proyect Underground. Abril de 1997.

² Jesús Delgado, diputado venezolano. En Petróleo y globalización ¿Salvación o perdición? De Frank Bracho. (1998). Ed. Vadell hermanos. Caracas.

*petrolera, alterando, confundiendo, desviando y deformando todas las formas normales de relación y todas las posibilidades de un desarrollo sano... La verdad es que no hubo desarrollo en el país. No hubo mejoría en la calidad de vida y de trabajo de su población y no se logro darle a la mayoría de sus habitantes la posibilidad real de un destino económico y social digno”.*³

La utilización de los productos del petróleo con la consiguiente creación de necesidades y formas de relación distintas a las ya establecidas al interior de los pueblos, redundan igualmente en la pérdida de las costumbres que definían su identidad cultural. Mundialmente los seres humanos nos hemos uniformado en cuanto a los requerimientos de la vida moderna, olvidándonos de las necesidades y posibilidades de nuestras propias culturas. La humanidad del siglo veinte se ha visto enfrentada al plástico, los plaguicidas, los aceites y lubricantes, la gasolina y los motores de combustión y muchos más productos que establecieron nuevas formas de vivir y de relacionarse con el mundo, en la mayoría de los casos con el consiguiente sacrificio de la calidad del medio ambiente y de la salud misma a cambio de las aparentes comodidades que aquellos ofrecían.

La cultura del petróleo desplazó y destruyó el equilibrio de las formas sanas de relación ser humano-naturaleza establecidas durante siglos por algunas culturas. *“En los países industrializados la economía y el estilo de vida son totalmente dependientes del petróleo. De esta materia prima, la industria percibe sus ganancias y el Estado sus impuestos. El transporte y el consumo aumentan la contaminación ambiental, al igual que la exploración y la explotación en áreas ecológicas valiosas y amenazadas”.*⁴ La estrecha dependencia que mantienen las sociedades modernas con el petróleo ha sido la mayor aliada de la indiferencia hacia los problemas que su uso conlleva. Nadie duda de los costos que genera la utilización del petróleo como fuente de energía y precursor de los productos ya mencionados, sin embargo, la humanidad los acepta indolentemente y muy pocos están dispuestos a optar por fuentes y productos alternativos.

Más desolador resulta este panorama si se tiene en cuenta que las ganancias para los países productores no son tan reales como parecen: *“Los costos reales del petróleo son ocultados muchas veces. Entre ellos se encuentran los costos militares para vigilar las rutas de navegación y las zonas de extracción, las subvenciones estatales y los privilegios en impuestos para las compañías petroleras. A ello se suman los costos del déficit comercial y las deudas que deben enfrentar los países dependientes del petróleo”.*⁵ Igualmente ilusorias resultan las ganancias monetarias procedentes de las exportaciones del petróleo en aquellos países que basaron su desarrollo casi exclusivamente en el recurso petrolero dejando rezagados otros sectores de la economía como el industrial y el agrícola, teniendo que invertir en la importación de productos que paradójicamente incluyen los derivados del petróleo (caso típico de los países en desarrollo).

Podemos sumar a estos costos el de la pérdida de la calidad de vida entendida en términos

³ BRACHO, Frank. (1998) *Petróleo y globalización ¿Salvación o perdición?* Ed. Vadell hermanos. Caracas.

⁴ “Balance de energía” *Rev. Ecológica* No. 21. Julio/Diciembre 1995. Pag. 30

⁵ IBID. Pag. 31

de salud. La amplia gama de enfermedades producidas por el uso indiscriminado y descontrolado de los frutos del petróleo, hacen más irreal la versión de quienes respaldan su explotación, comercialización y uso con el argumento de los beneficios económicos que perciben las naciones. Un informe técnico patrocinado por la Organización Mundial de la Salud y el gobierno Suizo, concluye: *“La contaminación del aire causada por vehículos automotores es el problema de contaminación atmosférica más extendido en el mundo actual... La circulación de vehículos automotores y los gases que éstos emiten ejercen efectos graves sobre la salud de las poblaciones urbanas. El ozono causa irritación ocular y pulmonar, provoca crisis de asma en los individuos susceptibles y ocasiona neumopatías obstructivas crónicas en las poblaciones más expuestas. El plomo es un pernicioso componente del material en suspensión y entraña un grave peligro para el sistema nervioso... Las partículas en suspensión causan irritación pulmonar y contribuyen a provocar afecciones respiratorias. El monóxido de carbono afecta a las personas con lesiones cardíacas y proviene casi exclusivamente del tráfico vehicular. El ruido de los vehículos automotores perturba constantemente la vida urbana”*⁶ Por supuesto la inversión en atención a la población afectada implica cifras astronómicas para todos los países.

Comunidades indígenas y petróleo

Otro grave problema que debemos evaluar aquí es el de los impactos de la industria petrolera sobre las comunidades indígenas dada su condición particular respecto a otras comunidades.

A lo largo y ancho del mundo encontramos legendarias culturas que durante siglos fueron forjando su propia identidad sociocultural en relación con su medio ambiente. Dichas comunidades sufrieron a lo largo de la historia todo tipo de vejámenes por procesos de dominación, saqueo o devastación, con lo cual vieron transformadas o destruidas sus culturas, o bien se vieron obligados a confinarse a los sitios más inhóspitos del planeta. Muchas poblaciones indígenas fueron integradas a los proyectos de colonización de países y culturas con gran poder beligerante, incorporándolos a sistemas de explotación para lo cual se hacía necesario la modificación de sus costumbres, vestimenta, idioma y conversión a la religión que profesaba la cultura dominante. En los casos en los que se presentaba oposición a estos procesos sencillamente fueron aniquilados o sometidos por la violencia. Se les expropió de sus tierras y riquezas y se les obligó a servir a los señores y a trabajar en minas, cultivos y demás formas de explotación económica.

Las empresas petroleras, ya sean directa o indirectamente a través de la utilización de débiles gobiernos a su servicio que promulgan leyes a su favor y en contra de las comunidades minoritarias y, ejercen sobre estas todo el peso del poder militar, no transformaron la actitud colonialista frente a estas comunidades en el presente siglo. Por el contrario, en enorme arrogancia y agresivas políticas, han venido socavando el patrimonio cultural de los pueblos indígenas a través de prácticas violatorias de sus derechos fundamentales. Son muchos los ejemplos pero nos detendremos solo en algunos que bien

⁶ Fuente BRACHO, Frank. *Petróleo y globalización ¿Salvación o perdición?* Ed. Vadell hermanos. Caracas (1998)

muestran sus actitudes.

Otro caso es el de los Ogoni en Nigeria. Es ésta una pequeña minoría de la población nigeriana que en 1990 conformaron el Movimiento de Supervivencia del Pueblo Ogoni, y redactaron la ley de los derechos de los Ogonis que presentaron al gobierno de Nigeria. Exigían el derecho a ser representados, la libertad religiosa y el derecho a proteger el medio ambiente donde viven. Su caso se llevó a la comunidad internacional y directamente a las oficinas de las compañías petroleras que abastecen el régimen criminal de Nigeria. Desde entonces los líderes del movimiento han sido sacrificados o silenciados y la comunidad continua siendo víctima de todo tipo de vejámenes.

Durante los últimos treinta y nueve años la Shell ha extraído un estimado de 30 billones de dólares en ganancias provenientes del territorio Ogoni, un área que solo produce el tres por ciento del petróleo de Nigeria. En este tiempo han devastado el medio ambiente en el Delta y han desconocido los derechos fundamentales del pueblo Ogoni. Sus prácticas incluyen operaciones con niveles ambientales extremadamente bajos, manipulación y división de la comunidad, pagos y apoyo a los militares, manipulación de la información, soborno a testigos, adquisición de armas y conformación de un cuerpo de policía a las ordenes de la Shell, utilizados para vigilar las instalaciones, dividir a las comunidades y reprimir las protestas.⁷

En los bosques tropicales de la provincia de Riau, en Sumatra, Indonesia, existe una gran cantidad de instalaciones petroleras pertenecientes principalmente a la PT Caltex Pacific Indonesia, un consorcio de Texaco y Chevron formado especialmente para dirigir operaciones en Asia. En el área de influencia del proyecto viven seis pueblos indígenas: los Laut, Talang Mamak, Bonai, Hutan, Akit y los Sakai, quienes han sufrido los peores impactos de la industria petrolera. Las operaciones del consorcio han puesto en riesgo la supervivencia de estos pueblos. La contaminación del aire, agua y suelo tuvo impactos graves, pero aún más serio es el proceso de expropiación territorial. Con el apoyo y ayuda del gobierno de Indonesia, las compañías extranjeras han sometido a los Sakai a una política de transmigración, forzando al pueblo a salir para permitir el uso de la tierra para la extracción de varios recursos. La irresponsabilidad ambiental en las actividades del consorcio ha afectado además al pueblo Sakai, en su estilo de vida que ha dependido de los recursos del bosque y del río tradicionalmente.⁸

Otro caso típico que ilustra la problemática de los pueblos indígenas es el del pueblo U'wa, en Colombia. Habitan en los límites de Boyacá, Norte de Santander y Arauca en plena zona del proyecto petrolero de exploración sísmica de la Occidental de Colombia. Esta empresa obtuvo licencia ambiental del Ministerio del Medio Ambiente en medio una intensa polémica acerca de los posibles efectos que se causarían sobre este pueblo indígena de casi seis mil personas en peligro de extinción, debido a diferentes factores históricos y políticos.

Los U'wa pidieron no intervenir las zonas sagradas de su territorio y estudiar el proyecto conjuntamente con el gobierno, temerosos de que su madre tierra se viera afectada.

⁷ Fuente Informe anual independiente. Project Underground. Abril de 1997.

⁸ Tomado de OILWATCH (1997) Voces de resistencia. Explotación petrolera en los trópicos. Ecuador

Alertaron sobre el perjuicio a sus zonas sagradas y al ecosistema en el territorio al que han definido como el centro del mundo y con el cual mantienen delicados equilibrios de la vida: *“se terminara la paz de la naturaleza, que es la paz de nuestros espíritus..., el silenciamiento de nuestros cantos y el silenciamiento de nuestra historia”*.

A pesar de las diligencias legales adelantadas por la comunidad, la problemática se ha venido dilatando y manoseando en discusiones de carácter ambiental, cultural, político, etc. en espera de que la Corte Constitucional determine la validez de las decisiones del Tribunal Superior de Cundinamarca que reconoció los derechos del pueblo U'wa y de la Corte Suprema de Justicia que los negó.

La constitución colombiana ordena la consulta previa a los pueblos indígenas sobre los problemas que pueden afectarlos con los objetivos de garantizar el respeto a su integridad étnica y cultural, permitir su adecuada participación, adecuar estos proyectos a las exigencias de la interculturalidad e instruir al estado en su tarea de proteger la diversidad étnica de la nación. Sin embargo en el caso del pueblo U'wa se han venido manipulando los aspectos legales y los acuerdos.

Hacia 1994, después de tres años de discusiones a sus espaldas, por parte de los estamentos gubernamentales y la Occidental, la población U'wa manifestó desconocer el proyecto y las implicaciones que este tendría en sus comunidades. Menos de quince días después de haberlo conocido, en enero de 1995, la Occidental adelantó el proceso de consulta ordenado por la ley, según los criterios expuestos por la dirección general de asuntos indígenas del Ministerio del Interior. La consulta se consumó según la interpretación de los contratistas petroleros y de los Ministerios del Medio Ambiente y de Minas. Los U'wa por su parte manifestaron que ellos no podían decidir sin antes informar a sus mayorías. Pero el Ministerio del Medio Ambiente expidió el 7 de Febrero de 1995 la licencia ambiental del proyecto Samore, sin atender a los términos de tiempo y de trabajo intercultural acordados en la reunión con el pueblo U'wa. Una vez más en su condición de minoría, los pueblos indígenas ven lesionados sus derechos y se les desconoce sus formas de vida y sus derechos históricos y patrimoniales.⁹

Las preocupaciones del pueblo U'wa y en general de los pueblos indígenas no son infundadas, en 1984 Shell empezó un programa de exploración sísmica en la región baja de Urubamba, en el Perú, para evaluar las reservas de gas natural en esa zona. Antes de este año los indígenas Nahua, no habían tenido ningún contacto con extranjeros. Sus primeros encuentros con Shell fueron esporádicos y violentos, causando muchas heridas y la suspensión de las operaciones sísmicas. Con el estratégico ánimo de mejorar sus relaciones la compañía ofreció herramientas, comestibles y otros regalos e invitaron a los Nahua al campo de Shell. Estas acciones de comercio cultural permitieron la continuación del programa de exploración.

Con la entrada de la Shell, los Nahua establecieron relaciones adicionales con los madereros que ingresaron a la región ofreciendo también regalos, a cambio de extraer

⁹ En “Hidrocarburos, pueblos indígenas y licencias ambientales” por MANCERA, Emilio. Rev. Ecológica. No. 21 Julio/Diciembre 1995. Bogotá, Colombia.

madera. Los sucesivos contactos introdujeron enfermedades como la tosferina y la gripe, para los cuales la población carecía de defensas. La población fue diezmada en un 50%. Algunos de los sobrevivientes se trasladaron a la ciudad de Sepahua, donde en la actualidad, desintegrados social, económica y culturalmente vagan en calidad de mendigos.¹⁰

Aún después de muchos siglos de repetición de equívocos continuamos considerando a los indígenas como seres “sin ninguna ley, Dios ni religión”, seres aculturales a quienes se les desconoce su condición de humanidad y se les considera como inferiores solamente porque sus culturas no se enmarcan dentro de nuestra idea occidental de civilización, según la cual *“la cultura tiene diversos grados de evolución, sobre la base del nivel de instrucción y de un conjunto de conocimientos previamente delimitados. Según esta concepción, con niveles de desarrollo social y cultural superiores y existen otros, obviamente inferiores”*.¹¹ La despiadada concepción según la cual al indígena hay que culturizarlo dada su condición de salvaje incapaz de acceder a formas complejas de organización social, sin un patrimonio histórico, con imperfectos y primitivos conocimientos y formas de vida poco civilizadas, más digno de nuestra compasión que de nuestro respeto, se mantiene como una creencia entre todos nosotros y es este imaginario (compartido por demás) el que utilizan las grandes empresas para, apoyados por los gobiernos que colocan equivocados intereses económicos por encima del bienestar de las poblaciones minoritarias y del sano mantenimiento de los ecosistemas, llevar a cabo sus grandes proyectos sin que medien procesos de fiscalización por parte de la comunidad en general.

Está claro que solo el rechazo a las lesionantes actividades de las empresas petroleras y a la permisividad de los agentes de control, desde el conocimiento de la problemática petrolera y mediante una decisiva y comprometida presión de censura por parte de la comunidad en general, así como la aceptación y apropiación de nuevas formas de relación con la naturaleza, moviliza a unos y otros a la remediación de los impactos que provocan y a la búsqueda de alternativas al desarrollo comprometidas con criterios de sostenibilidad para la calidad de vida del mundo futuro.

Industria petrolera y medio ambiente

La industria petrolera misma, en sus diferentes etapas, exploración, perforación, extracción, transporte, refinación, distribución, etc., genera múltiples impactos de tipo ambiental, agravados generalmente por la negligencia de las empresas petroleras que no están dispuestas a invertir suficientemente (cuando invierten) en la protección de los ecosistemas que impactan sus actividades. Por supuesto, la responsabilidad en estos aspectos es compartida de una parte por los gobiernos que ejercen (cuando las ejercen) inadecuadas e ineficientes medidas de control, y de otro por la comunidad en general, que con su marcado desinterés por la problemática petrolera y el nulo ejercicio de la censura y los mecanismos de presión (contemplados como derechos en la mayoría de las constituciones del mundo), se convierte en patrocinador de unos y otros.

¹⁰ Tomado de OILWATCH (1997) Voces de resistencia. Explotación petrolera en los trópicos. Ecuador

¹¹ FRANCO, Juan “perspectiva antropológica y relacionamiento comunitario”. Rev. ECO-Polémica No.1 Agosto de 1997

Todas las fases petroleras requieren de la construcción de infraestructura como plataformas de perforación, campamentos, pozos, así como la apertura de carreteras de acceso, helipuertos, oleoductos, gasoductos y líneas secundarias, lo que genera graves impactos ambientales en los ecosistemas y en las culturas locales.

a. Impactos en la actividad sísmica.

Dado que para la prospección sísmica se requiere abrir trochas en líneas (líneas sísmicas) que poseen alrededor de 1 km. de largo por 3-10 m. de ancho. En una campaña sísmica se talan hasta 1.000 km. de líneas sísmicas. Para dar servicios a las actividades sísmicas se requiere construir helipuertos de media hectárea, que pueden ir entre 1.000 y 1.200 en un contrato típico, lo cual nos da una idea de la deforestación que se lleva a cabo. Por supuesto toda actividad de deforestación entraña la pérdida de la biodiversidad. Además de los espacios estrictamente deforestados, hay un efecto de borde que hace que la extensión alterada sea mucho mayor. Esto provoca serios impactos en los animales de la selva. Durante la prospección sísmica, de otro lado, se producen ruidos de gran magnitud producidos por las detonaciones de dinamita que se hace cada seis metros, así como el ruido producido por los helicópteros que suplen de materiales y alimentos a los trabajos sísmicos. Este ruido hace que los animales escapen o cambien su comportamiento

b. Impactos en las actividades de perforación

En las actividades de perforación la influencia y riesgos ambientales no están limitados al área inmediata, sino que fluye con el agua y con el viento ampliando su radio de acción. Se impacta a los cuerpos de agua (ríos, lagos y aguas subterráneas) por contaminación por los desechos que genera y por su interrupción. La contaminación de los cuerpos de agua a gran escala se inicia en la perforación exploratoria, cuando se genera gran cantidad de contaminantes, entre ellos los ripsos de contaminación. Estos desechos que son colocados en piscinas. Allí también llegan los lodos de perforación a los que se les ha adicionado químicos contaminantes entre los que incluyen biocidas, antioxidantes, anticorrosivos, lubricantes y otros. Los lodos son lavados con sulfatantes que en niveles elevados, son tóxicos. Algunos contienen altos contenidos de cromo, níquel y otros metales pesados. Existen lodos llamados biodegradables pero que poseen algunos niveles de toxicidad. Otro contaminante producido en las piscinas son los crudos producidos durante las pruebas que se hacen durante la perforación exploratoria.

Los impactos típicos generados en el suelo incluyen: erosión debido a la actividad de construcción y contaminación petrolera, lodos de perforación y efluentes, deforestación, pérdida de suelos, destrucción de áreas destinadas a la agricultura. La contaminación petrolera en el suelo puede producir el sofocamiento de las raíces, restando el vigor de la vegetación, y en muchos casos, matándola y la desaparición o disminución de poblaciones de microfauna del suelo. Cuando los contaminantes llegan a zonas cultivadas, se registran pérdidas en las cosechas, muchos cultivos mueren al contacto con el crudo. En otros casos la productividad del cultivo baja, lo que tiene serias consecuencias en la economía de los dueños del cultivo.

El aire se contamina especialmente por la emisión de gases y malos olores procedentes de la quema de gases, emisiones de CO₂, CO, y trazas de SO₂, generador de la lluvia ácida que causa daños severos en los terrenos y superficie en donde se deposita.

La contaminación auditiva se genera por el ruido de helicópteros, lanchas voladoras, entrada de equipos industriales y de construcción, en la apertura de caminos de acceso, de taladros, de las explosiones sísmicas y de los cañones de aire para la exploración, la instalación de plantas eléctricas, con lo cual se perturba a la fauna y a las comunidades que viven en las zonas aledañas.

Otro impacto ambiental generado directa e indirectamente es la cacería indiscriminada de la fauna silvestre por parte tanto de los trabajadores petroleros como de los colonizadores atraídos por las oportunidades laborales y comerciales alrededor de la industria petrolera.

c. Impactos en la actividad petrolera costa-afuera

La explotación petrolera costa-afuera, igualmente, conlleva riesgos ambientales muy altos y los daños al medio marino resultan más difíciles de controlar y cuantificar. Los ejemplos de desastres hablan por sí solos¹²: El reventón de 1979 en la bahía de Campeche en el Golfo de México, estuvo fluyendo por casi un año sin que pudiese ser cerrado, dejando un desastre contaminante que llegó a afectar hasta la cota de Texas, a 1.000 kilómetros de distancia. El derrame del buque *Amoco Cádiz*, frente a Francia en 1978, otro gigantesco derrame cuantificado en 1.700.000 barriles de petróleo, fue también combatido por todos los medios tecnológicos disponibles sin que se pudiera recuperar más del 10% de la cantidad derramada. Si los derrames tienen lugar en cuerpos de agua cerrados, con poca circulación, o medios cenagosos, tales como los manglares, los efectos sobre la vida y el medio natural son aún más letales. Este fue el caso del derrame del buque *Exxon Valdés* en 1989, en la confinada Bahía de Anchorage, en Alaska; derrame que aunque de menor cantidad que el de los anteriores, contaminó profundamente 1.600 kilómetros de costa, causando la destrucción indiscriminada de toda la población marina incluyendo la de miles de ballenas, delfines, nutrias y otros mamíferos, así como la liquidación de unas 500.000 aves; un daño al ambiente que perdurara por siglos, las tecnologías que existen para la limpieza de los ecosistemas no logran disminuir el grave impacto que generan estos desastres.

La presencia de petróleo en las costas debido a derrames u otros accidentes, produce impactos en su biodiversidad. La microbiota, las algas, los invertebrados, los animales mayores y la avifauna, y su medio natural se ven afectados produciéndose un desequilibrio ecológico que puede tardar mucho tiempo en su recuperación. Los arrecifes coralinos, por ejemplo, se ven afectados drásticamente en la composición de sus especies y la alteración de su hábitat. Estos ecosistemas marinos tropicales altamente resistentes a la erosión y a las tormentas, por lo cual son importantes estabilizadores de las líneas de costa, son áreas muy importantes para la pesquería, dada la gran variedad y cantidad de peces que los habitan y que le confieren un valor cultural y económico importante.

¹² Fuente BRACHO, Frank. (1998) *Petróleo y globalización ¿Salvación o perdición?* Ed. Vadell hermanos. Caracas

Otra zona de gran importancia social, económica y ecológica con alta susceptibilidad ambiental son los bosques de manglares. Estos son los ecosistemas más productivos de la tierra; dos terceras partes de las especies de peces tanto de mar como de agua dulce, dependen del manglar. En el complicado laberinto de sus raíces viven y se reproducen peces, crustáceos, almejas, aves y reptiles. Las actividades de petroleras en bosques de manglar presentan una serie de impactos ambientales, incluyendo la interrupción del flujo del agua dulce y de las mareas hacia los manglares, alteración del patrón de drenaje, de la vegetación alteración del suelo y la inestabilidad general del área.

Resumen de las actividades petroleras (continentales y marítimas) que afectan al medio ambiente¹³:

- Construcción de vías de enlace e infraestructura
- Apertura de líneas sísmicas
- Derrames de Hidrocarburos en:
 - . baterías de separación
 - . deshidratadoras
 - . Centrales de almacenamiento y bombeo
 - . pozos descontrolados
 - . Desbordamiento de fosas
 - . Rotura de ductos
 - . Accidentes de buques petroleros (o de otros medios de transporte)
- Quema de gas en "mechones"
- Vertimiento de desechos tóxicos en petroquímicas
- Desplazamiento de indígenas y campesinos
- Migración de colonos, comerciantes y aventureros
- Caza furtiva.

Resumen de los impactos que se producen por las actividades petroleras:

- Desmonte, tala y contaminación de bosques y manglares
- La retención de aguas
- La salinización de tierras, lagunas y estuarios
- Fragmentación y pérdida de pantanos
- Dulcificación de ambientes costeros
- Modificación de sistemas hidrológicos
- Modificación a la topografía por extracción de materiales
- Impacto sobre cuerpos de agua que actúan como rutas de dispersión o depósitos finales de contaminantes
- Pérdida de biodiversidad
- Liberación de óxido de nitrógeno, anhídrido sulfúrico, monóxido de carbono, anhídrido carbónico
- Caza y pesca indiscriminada
- Modificación de patrones económicos tradicionales de las comunidades

¹³ Fuentes: Joel Zavala Cruz. "Regionalización natural de la zona petrolera de Tabasco"; CODEZPET, Op. cit.; Tudela, F. Op. cit.

- Cambios en la tenencia de la tierra
- Impactos en la salud de los indígenas y colonos
- Dispersión de comunidades indígenas y destrucción de su cultura

d. Petróleo y Efecto Invernadero

Según *Greenpeace*, los gases emitidos por los vehículos y en general por las actividades en las que los combustibles fósiles se utilizan, son uno de los mayores causantes del efecto de invernadero que ha venido aumentando paulatinamente la temperatura del planeta. Estos gases, denominados gases de invernadero, provocan que la radiación infrarroja producida por la reflexión de la luz del sol sobre la superficie del planeta, se retenga en la atmósfera, por lo que se calienta la superficie de la tierra y la parte inferior de la atmósfera. El gas natural más importante que produce este efecto es el vapor de agua. Le sigue en orden de importancia el dióxido de carbono (CO₂), que se agrega a la atmósfera de forma tanto natural como no natural. En este caso, es decir, cuando el efecto de invernadero es producido por gases provenientes de la actividad humana, se denomina intensificado o antropogénico. Además del dióxido de carbono, los vehículos emiten otros gases de invernadero entre los cuales se cuentan los clorofluorocarbonos (CFCs), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO).¹⁴

Lo peor de todo es que la demanda de energía petrolera sigue en aumento, determinada por el incremento de la población mundial, especialmente en los países en desarrollo, pero también por el irracional aumento en la demanda de energía en los países industrializados. *“A medida que la población aumenta, aumenta la demanda de bienes que consumen energía y que contaminan. Sin embargo, estos últimos han proliferado más deprisa que la población. En los últimos cuarenta años el número de carros aumento cuatro veces más deprisa que el de los seres humanos... Como quiera que sea, la mayor parte de la energía la consumen los países industrializados, pues en ella el consumo de la misma por persona es diez veces mayor que en el tercer mundo”*.¹⁵

La contaminación del aire con el consiguiente calentamiento de la atmósfera, es uno de los más graves problemas ambientales que debe enfrentar hoy el planeta dada la alta demanda de los diferentes productos petroleros.

¹⁴ LEGGETT, Jeremy. El calentamiento del planeta: informe de Greenpeace. Fondo de Cultura Económica. Mexico 1996.

¹⁵ “Balance de energía” Rev. Ecológica. No. 21. Julio/Diciembre 1995. Pag. 30