

LOS IMPACTOS DE LA EXPLOTACION PETROLERA EN ECOSISTEMAS TROPICALES Y LA BIODIVERSIDAD

ELIZABETH BRAVO

Acción Ecológica

Mayo, 2007

RESUMEN EJECUTIVO

Todas fases de las operaciones petroleras impactan al medio ambiente y a la biodiversidad. Las dos principales causas de afectación ambiental son:

- ❖ Contaminación
- ❖ Deforestación

Los contaminantes pueden ser de distinta naturaleza:

- a) química, entre los que se incluye el propio petróleo crudo y sus componentes, que ingresan al ambiente a través de las distintas prácticas operacionales, los químicos que se usa para facilitar la extracción petrolera, los compuestos asociados al crudo, etc.
- b) sonora por las detonaciones que tienen lugar en la prospección sísmica y por el funcionamiento de la maquinaria petrolera
- c) lumínica generada en la quema de gas

Cada tipo de contaminación produce distinto tipo de impactos en la biodiversidad y el ambiente.

En la construcción de infraestructura como plataformas de perforación, campamentos, helipuertos y pozos, así como la apertura de carreteras de acceso, el tendido del oleoductos y líneas secundarias, se produce deforestación.

La deforestación se produce por tres causas:

- a) porque se clarea el bosque para instalar toda esta infraestructura
- b) para la construcción de campamentos, empalzar las carreteras, etc. se utilizan miles de tablones extraídos de los bosques aledaños
- c) un impacto indirecto es que las carreteras constituyen una puerta abierta a la colonización y la deforestación

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, sobre todo animales mayores y aves que huyen del lugar, afectando la alimentación y la salud de los indígenas que viven de la caza.

En este informe, se va a analizar los impactos de las actividades petroleras en sus distintas fases, el destino ambiental del petróleo, las principales fuentes de contaminación, y los impactos específicos que se producen en distintos ecosistemas y grupos taxonómicos.

CONTENIDO

1. LOS IMPACTOS DE LA ACTIVIDAD PETROLERA FASE POR FASE.....	4
2. DESTINO AMBIENTAL DEL CRUDO Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN.....	25
3. IMPACTO EN LOS ECOSISTEMAS Y LA BIODIVERSIDAD.....	30
4. IMPACTOS EN GRUPOS TAXONOMICOS ESPECIFICOS.....	46
REFERENCIAS.....	53

1. LOS IMPACTOS DE LA ACTIVIDAD PETROLERA FASE POR FASE

La actividad petrolera es una de las industrias que más impactos ambientales y en la biodiversidad genera a nivel local y global.

En las distintas fases de la explotación petrolera y las prácticas operacionales típicas de la industria petrolera en zonas tropicales (UICN y E&P Forum¹, 1991) se produce destrucción de la biodiversidad y del ambiente en general (Almeida, 2006). Por otro lado, la quema de combustibles fósiles constituye la principal causante del calentamiento global.

A pesar de la importancia que tienen las regiones tropicales para la estabilidad del clima mundial, de la importantísima biodiversidad que albergan, y de ser el hogar de cientos de pueblos indígenas y comunidades ancestrales, la industria petrolera ve en estas regiones como una frontera para ampliar su negocio. De acuerdo a percepciones de la industria, es muy barato explotar petróleo en zonas tales como la Cuenca Amazónica, el Sudeste-Asiático y en los mares tropicales, con el desarrollo de la tecnología para aguas profundas.

Para analizar los impactos de la industria petrolera en la biodiversidad, no podemos limitarnos a analizar el impacto que el petróleo crudo tiene en cada una de las especies o en los ecosistemas, sino que hay que entender cómo funciona la industria de la extracción petrolera en ecosistemas tropicales, pues para extraer petróleo del subsuelo, hay una serie de prácticas operacionales que alteran en equilibrio ecológico y afectan a las comunidades biológicas.

Con frecuencia se cree que los "impactos directos" de la extracción petrolera pueden ser controlados con tecnología, y sólo permanecen mientras dura el proyecto. Estudios sobre el destino ambiental del petróleo demuestran que aunque la toxicidad del crudo disminuye con la degradación (que puede ser biológica o física), este sigue siendo una fuente de contaminación y de toxicidad para los organismos presentes en un ecosistema por largo tiempo (di Toro *et al*, 2007).

Se argumenta también que estos impactos se restringen a la zona del proyecto. En esta revisión vamos a ver que la alteración ecosistémica provocada por la extracción petrolera se extiende mucho más allá de los límites del proyecto, mucho más aun cuando esta tiene lugar en bosques tropicales.

En el Ecuador, las normas sobre la prospección sísmica ha sido modificada desde que se inició la actividad petrolera en la década de 1960. En esta revisión se va a incluir información especialmente de las prácticas que fueron llevadas a cabo por la empresa Texaco.

¹ Hoy OGP

1. PROSPECCIÓN SÍSMICA

La sísmica es un proceso geofísico que consiste en crear temblores artificiales de tierra, con el uso de explosivos que causan ondas con las que se hace una ecografía del subsuelo, donde aparecen las diversas estructuras existentes, incluyendo estructura que potencialmente pueden almacenar hidrocarburos.

Para los estudios sísmicos se abren trochas de un ancho entre 2 y 10 metros. Cada línea sísmica tiene 1 Km. de largo (Rosanía, 1993).

En una campaña sísmica típica se talan hasta 1000 kilómetros. Para la logística de los estudios sísmicos se construyen helipuertos de más o menos una hectárea cada uno. En algunos estudios sísmicos se construye un helipuerto cada kilómetro. En mil kilómetros de líneas sísmicas, se construyen entre 1000 y 1200 helipuertos (Rosanía, 1993). Cada helipuerto tiene media hectárea, o más. En el Ecuador hasta 1994, se habían abierto unos 30.000 kilómetros de bosque de líneas sísmicas en medio del bosque húmedo tropical (Almeida, 2006).

Para las explosiones se perforan pozos de entre 2 y 20 metros, sobre una línea recta. El diámetro del hueco es de entre 5 y 10 centímetros. Las explosiones se hacen cada 15 y 100 metros (Comisión de Evaluación del Impacto Ecológico de la Exploración Sísmica en el Bloque 10, 1989).

La prospección sísmica puede ser 2D (en dos dimensiones) o 3D (tridimensional). Estas se diferencian por la distancia entre las líneas sísmicas o densidad de la malla que es mayor en la sísmica 3D. Conseguir una mayor densidad significa que las labores de la sísmica son mucho más intensas y por ello hay mayores impactos en el medio.

Entre los impactos identificados durante los estudios sísmicos, se incluyen:

Deforestación por la apertura de la trocha y la construcción de helipuertos y de campamentos provisionales. Este impacto varía en función de la cobertura vegetal presente a lo largo de la trocha y del número de helipuertos construidos.

En esta fase se registran también impactos indirectos pues la apertura de trochas crean nuevas vías de acceso para la colonización.

Se ha registrado también que las cuadrillas de trabajadores cazan y pescan en el sitio especialmente cuando los estudios sísmicos son hechos en lugares donde se está abriendo la frontera petrolera en ecosistemas naturales, poniendo en riesgo especies de fauna terrestre y acuática. Como los trabajadores provienen de lugares distintos a aquellos donde se hace la sísmica, desconocen los períodos de veda establecidos por las propias comunidades locales que conocen las dinámicas de las poblaciones de la fauna local. Durante los estudios sísmicos se contratan unas 30 personas, entre los que se incluye generalmente un cazador-pescador. Estas cuadrillas generan además grandes cantidades de residuos sólidos y otros tipos de desechos (Rosanía, 1993).

En una investigación independiente hecho en el Ecuador a las actividades sísmicas de la empresa Arco² en el Bloque 10, se identificó que durante su campaña sísmica se deforestó aproximadamente 1046 ha. de bosque primario, se observó tubos de descarga y desechos tóxicos directamente en los ríos y suelos; altos niveles de contaminación sonora proveniente de la perforación, plantas de generación y explosiones sísmicas. Se registró 2170 horas de ruido de los vuelos de los helicópteros. Este daño, junto con una intensiva cacería de animales llevada a cabo por los trabajadores petroleros, ha provocado una carencia de peces y animales para la cacería.³ (citado en Kimerling, 1993)

La contaminación por ruido es otro impacto de las actividades sísmicas. Durante la prospección sísmica se producen niveles de ruido de gran magnitud, debido a las detonaciones de dinamita que se hacen cada 6 metros, así como el ruido producido por los helicópteros que suplen de materiales y alimentación a los trabajos sísmicos.

Otros impactos relacionados con la prospección sísmica incluyen la compactación del suelo cuando se usan camiones vibradores. Generación o aceleración de procesos erosivos cuando la operación se realiza en terrenos susceptibles o inestables, y en algunos casos derrumbes. Las explosiones producen movimiento de suelo cuando los pozos quedan mal tapados.

Debido a las explotaciones hay desplazamiento de fauna por efecto del ruido y muerte de peces cuando las detonaciones son en el agua (Patin, 1999).

En estudios sísmicos en el mar se utiliza disparos aéreos. Estos disparos son dirigidos hacia abajo, pero tienen un considerable efecto horizontal. El sonido bajo el agua puede tener un impacto de hasta 10 Km. a la redonda. En este tipo de estudios, los impactos se evidencian en peces y larvas de peces de importancia comercial, especialmente cuando la prospección se lleva a cabo en aquellas áreas en las que las especies cumplen ciclos biológicos cruciales (Patin, 1999).

Hay una afectación además aves y mamíferos marinos, especialmente cetáceos⁴ que usan complicados sistemas de comunicación para orientación y para atrapar alimentos (UK Biodiversity Action Plan). En ellos se ha detectado fallas en su fisiología auditiva, alteración en la respuestas frente a condiciones de estrés, aumento en la hipertensión y un desbalance endocrino.

Adicionalmente, se ha registrado una disminución en las fuentes alimenticias, lo que es especialmente relevante cuando los animales están en período de lactancia o crianza.

Varias especies de aves tienen requerimiento muy especiales en el período reproductivo (sitios de copulación y requerimientos alimenticios especiales), por lo

² Arco hoy forma parte de BP

³ Hoy este bloque petrolero es operado por la empresa AGIP.

⁴ Por ejemplo los delfines rosados en la Amazonía Ecuatoriana

que las detonaciones en esta época puede significar la pérdida de toda una estación reproductiva, afectando la composición de las poblaciones naturales. Este problema se agudiza si las campañas sísmicas son muy prolongadas

El servicio de Vida Silvestre de los Estados Unidos ha hecho una revisión de los impactos de los estudios sísmicos en la biodiversidad del Refugio de Vida Silvestre del Ártico (US Fish and Wildlife Services. Artic Wildlife Refuge). Ahí se reportó que las explosiones puede producir alteraciones en el comportamiento de aves, peces y mamíferos, en lo que se refiere a su comportamiento reproductivo o alimenticio. Por ejemplo, cuando las detonaciones tienen lugar durante la época o en los lugares de desove, apareamiento o crianza, los impactos letales en la fauna local puede ser muy grave.

Otra área sensible a las detonaciones son las rutas de especies migratorias, especialmente ballenas. Por tal motivo, en el Plan de Acción del Reino Unido se ha tomado medidas para disminuir este impacto (UK Biodiversity Action Plan).

Se han realizado estudios de los impactos de la prospección sísmica en bancos de peces, y se ha encontrado que para algunas especies de interés comercial, se puede reducir la pesca en hasta un 45% del promedio. Su impacto se registró en 10 Km. a la redonda. El número de peces disminuyó tanto en la zona pelágica como en fondo de la columna del agua. Después de las detonaciones no se observó una recuperación en la pesca por varios días.

Estas detonaciones afectan también acuíferos produciéndose contaminación de las aguas de pozos, destrucción de vertientes de agua. A nivel de cuerpos de agua superficial se produce erosión de las zonas de playa y sedimentación de los ríos.

2. PERFORACION

Luego de la prospección sísmica, y una vez que se inicia la perforación, se empieza a generar desechos contaminantes, siendo los más importantes los cortes y lodos de perforación.

Durante la perforación básicamente se tritura la roca, a profundidades que pueden llegar hasta unos 6 Kilómetros, produciendo un tipo de desechos llamados cortes de perforación.

Los cortes de perforación están compuesto de una mezcla heterogénea de rocas, cuya composición depende de la estratología local, que puede incluir metales pesados, sustancias radioactivas u otros elementos contaminantes. Pueden contener en mayor o menor grado por hidrocarburos. Son pues agentes contaminantes. Entre mayor es la profundidad a la que se perfora, se generan mayor cantidad de desechos, los mismos que contienen niveles mas altos de toxicidad.

En la perforación se utiliza los lodos de perforación, que pueden ser en base a aceite o agua.

Contienen una gran cantidad de aditivos químicos, que se bombea al pozo productor para actuar como lubricante y refrigerante a la broca o como herramienta, para levantar la roca cortada por la broca, evitar la corrosión, el derrumbe de las paredes del pozo, controlar que los líquidos en las diferentes formaciones del subsuelo (aguas de formación y crudo) y el gas, fluyan sin control hacia la superficie. Contienen además biocidas para controlar la presencia de agentes biológicos presentes en las distintas formaciones geológicas (Reyes y Ajamil, 2005^a) .

Los lodos de producción pueden estar basados en agua o en petróleo.

Los lodos solubles en agua tienen como componente principal la barita y el carbonato de calcio, a los que se añade compuestos inorgánicos como la bentonita y otras arcillas que aumentan la viscosidad. Estos lodos incluyen varios metales pesados tóxicos, sales inorgánicas, detergentes, polímeros orgánicos, inhibidores de la corrosión y biocidas. A pesar de su nombre, estos lodos contienen cantidades significativas de hidrocarburos (100-7000 ppm), los mismos que son usados para reducir la fricción y como lubricantes.

Los lodos en base a hidrocarburos contienen petróleo mineral, con cantidades variables de hidrocarburos aromáticos, limo para aumentar el pH y controlar la corrosión, químicos en base a lignita para controlar la pérdida de fluidos, emulsificantes y detergentes, entre los que se incluyen ácidos grasos, aminas, amidas, ácido sulfónico y alcoholes como emulsificantes secundarios; bentonita; cloruro de calcio es usado como emulsificante para aumentar la viscosidad de los lodos. Se han hecho experimentos que muestran que los lodos de perforación en base a petróleo pueden estar presentes en el medio después de 180 días de la descarga, con un grado de biodescomposición de menos del 5% (Bakke y Laake, 1991).

Los lodos de perforación en base a petróleo inhiben el crecimiento y desarrollo reproductivo de algunas especies acuáticas, reduce el establecimiento de ciertas comunidades biológicas cuyos hábitos son alterados. Se observa cambios en las respuestas inmunológicas en peces y otras especies. Hay un incremento en la sensibilidad de algunos crustáceos marinos (como camarones y langostas), especialmente en las fases tempranas del desarrollo embrionario (Patin, 1999).

Se ha observado además cambios en la tasa de establecimiento de larvas de plancton de invertebrados bentónicos en el sustrato sólido. Los lodos de perforación generan condiciones anaeróbicas en el fondo de los sedimentos, lo que altera la composición de las comunidades microbianas (Blackman *et al*, 1986)

Los lodos solubles en agua tienen como componente principal la barita y el carbonato de calcio, a los que se añade compuestos inorgánicos como la bentonita y otras arcillas que aumentan la viscosidad. Estos lodos incluyen varios metales pesados tóxicos, sales inorgánicas, detergentes, polímeros orgánicos, inhibidores de la corrosión y biocidas.

A pesar de su nombre, estos lodos contienen cantidades significativas de hidrocarburos (100-7000 ppm), los mismos que son usados para reducir la fricción y como lubricantes.

En zonas aledañas a plataformas de perforación, se ha registrado elevados contenidos de hidrocarburos policíclicos aromáticos en los tejidos de peces, lo que incide en enfermedades hepáticas en las comunidades humanas que dependen de estos peces para su alimentación.

Todos estos desechos son colocados en piscinas abiertas en el medio ambiente sin ningún tratamiento. En estas piscinas se colocan también los desechos que se generan cuando se reacondicionan los pozos petroleros, se limpia el crudo u otras sustancias que se adhieren a la tubería. Estas piscinas abiertas son un importante foco de contaminación, pues los desechos migran a las capas subterráneas del suelo y las piscinas se desbordan cuando la lluvia es abundante, contaminando las fuentes de agua superficiales.

Wills (2000) reportó que un aditivo común de los lodos de perforación, ferro-cromo ligno-sulfato tiene efectos en la sobrevivencia y repuestas fisiológicas de huevos de peces. Otro aditivo usado, CMC (Carboxi-Metil-Celulosa) puede producir la muerte de peces a concentraciones altas (1.000-2.000mg/l) y cambios fisiológicos a concentraciones de 12-50 mg/l.

Otros aditivos usados como antiespumantes, anticorrosivos, etc. presentan distinto grado de impactos en la vida acuática, los mismos que van desde cambios fisiológicos menores hasta mortalidad (Wills, 2000).

Algunas empresas están usando geotextiles para que estos desechos continentes no migren a través del suelo y contamine las aguas subterráneas. Sin embargo, en zonas tropicales, donde hay altos niveles de pluviosidad, estos pozos rebasan contaminando las áreas adyacentes.

En otros casos, se moviliza grandes cantidades de tierra y se mezcla con los desechos de la perforación. Para esto se requiere ocupar importantes extensiones de suelos.

Las piscinas abiertas por Texaco tienen un área de alrededor de 75 x 70 m. En ecosistemas con precipitaciones anuales de 3.300 mm, como son los Amazónicos, los desechos de la piscinas pueden fácilmente desbordarse, contaminando las zonas aledañas, incluyendo chacras indígenas, fincas de campesinos, cuerpos de agua, ecosistemas naturales. Estas piscinas están abiertas hasta la actualidad.

La opción recomendada por la misma industria para zonas de gran fragilidad es sacar los desechos del lugar para un lugar de tratamiento, sin embargo el EIA utiliza los argumentos a su antojo, y afirma que sacar los desechos significaría aumentar el tráfico vehicular.

En el mar, los cortes de perforación se colocan directamente en el lecho marino. Estos entierran a la fauna bentónica, afectando todo el ecosistema, por el importante papel que juega el bentos en la cadena trófica marina.

En el Mar del Norte hay 1,5 millones de toneladas de lodos contaminados depositados en el fondo del mar depositadas de las cuales por lo menos 166.000 toneladas contienen petróleo, formando pilas individuales de hasta 30 metros de altura. Se ha establecido que hay desiertos biológicos hasta a unos 500 metros alrededor de las plataformas. A distancias mayores, se producen cambios en la composición de las comunidades marinas, favoreciendo a las especies oportunistas tolerantes a la contaminación (Granier, 1997).

En el tipo de perforación llevada a cabo por la empresa Texaco (llamada perforación vertical) se perforan los pozos de manera individual, y para cada pozo se afecta como promedio una hectárea de ecosistemas naturales o zonas agrícolas.

En la perforación en racimo, se perforan varios pozos desde una sola plataforma. En este caso se afecta un área menor, pero se genera mayor cantidad de desechos. A este tipo de operación se la conoce como perforación direccional.

Otra fuente de contaminación generada durante la perforación es el ruido constante procedente de las torres de perforación y el movimiento constante de vehículos (que en algunos casos pueden ser helicópteros). Este ruido hace que los animales escapen o cambien su comportamiento alimenticio y reproductivo.

En la temporada de la perforación el trabajo es muy intensivo, y en un área muy pequeña se concentran alrededor de 70 personas que, complementan su alimentación con la cacería de fauna local, muchas veces de especies en peligro de extinción. Así, durante la perforación exploratoria en la Reserva Faunística Cuyabeno, se encontró el cuerpo de un águila harpía que había sido cazada por los trabajadores (Asociación de Defensa del Cuyabeno, 1994)

PLATAFORMAS

La presencia de las plataformas producen un impacto físico de importancia, pues puede alterar el comportamiento de la vida silvestre, sobre todo cuando esta infraestructura es instalada en el sitio de apareamiento, desove, alimentación y rutas de migración de algunas especies.

Otra fuente de alteración es el ruido y la luz que se genera en las plataformas, ambos aspectos pueden alterar el comportamiento e interferir con las rutas migratorias de mamíferos, peces y aves. El calor producido en las plataformas sobrecalienta el ambiente, produciendo impactos negativos sobre todo en aquellas especies que tienen un nicho ecológico muy demandantes.

La perforación de un pozo petrolero puede durar algunos meses y llegan a trabajar hasta unas 200 personas que viven en campamentos aledaños al pozo (cuando el pozo es perforado en una zona de frontera). Esto significa mas deforestación para

la construcción de la plataforma, de helipuertos para dotar de infraestructura a las operaciones, la instalación del campamento. La plataforma y otra infraestructura es extraída de la zona. Los trabajadores petroleros cazan y pescan en la zona.

En resumen se puede decir que durante la perforación se producen los siguientes impactos: deforestación, pérdida de la biodiversidad, erosión del suelo, interrupción de flujos de agua, uso de recursos naturales (flora y fauna) y generación de desechos domésticos por parte de los trabajadores petroleros, generación de residuos contaminantes provenientes de los corte y lodos de perforación, ruido y vibraciones, lo que puede producir impacto en el comportamiento en la fauna, desplazamiento de fauna e interrupción permanente de corredores, interrupción de vías de drenaje naturales, y contaminación por el ruido generado.

METALES PESADOS PRESENTES EN LOS CORTES DE PERFORACIÓN

Cadmio. Es un micronutriente esencial para los humanos, animales y plantas. Sus propiedades tóxicas son similares a las del zinc. Es persistente en el ambiente y si es absorbido por el organismo humano puede persistir por décadas antes de ser excretado. En humanos, la exposición prolongada se relaciona con la disfunción renal. También puede llevar a enfermedades pulmonares, se la ha relacionado con el cáncer de pulmón y puede provocar osteoporosis en humanos y animales. El ingreso medio diario, para humanos se estima en 0,15 µg proveniente del aire y 1 µg del agua. Fumar unos 20 cigarrillos puede provocar la inhalación de unos 2 a 4 µg. Es un metal absorbido rápidamente por las plantas.

Plomo. El plomo es tóxico para la mayoría de organismos vivos por sus efectos sobre el sistema nervioso. Se acumula en el organismo hasta que alcanza niveles tóxicos y produce sus efectos.

Mercurio. El mercurio es un metal pesado, neurotóxico y peligroso, que se bioacumula en la cadena alimenticia. El mercurio es un metal no esencial y altamente tóxico. Los mecanismos de eliminación biológica son escasos. El mercurio es el único metal que se haya comprobado pueda biomagnificarse, es decir acumularse progresivamente en la cadena alimentaria. El mercurio inorgánico puede ser metilado por microorganismos nativos del suelo, el agua dulces o los sedimentos marinos. La forma más común de mercurio orgánico es el mercurio de metilo (MeHg), que es soluble, voluble y de rápido ingreso en la cadena alimentaria acuática (Goyer, 1996).

Arsénico. La toxicidad de los compuestos del arsénico varía considerablemente. Los compuestos inorgánicos son generalmente más tóxicos que los compuestos orgánicos. Ciertos derivados del arsénico son además carcinogénicos. Las intoxicaciones en el ambiente de trabajo juegan un papel particularmente importante. La exposición a altos niveles de arsénico puede causar la muerte.

Cobre.- Es un elemento esencial para la vida humana, pero en dosis elevadas puede provocar anemia, irritación del estómago e intestino y daño renal y hepático. Los pacientes con la enfermedad de Wilson, pueden tener mayores riesgos en caso de sobreexposición al cobre. El cobre puede encontrarse en el agua potable, procedente de las cañerías de ese metal o de aditivos empleados para evitar la proliferación de algas.

Cromo.- Frecuentemente se acumula en ambientes acuáticos, por lo que existe cierto riesgo de ingerir pescado contaminado. Los bajos niveles de exposición pueden provocar irritación de la piel y úlceras, mientras que la exposición prolongada puede causar daños hepáticos y renales, al tejido nervioso y al sistema circulatorio.

Se puede presentar además Cobalto, Hierro, Selenio, Manganeseo, Molibdeno, Antimonio, Bario, Plata, Talio, Titanio, Estaño, Zinc, Cromo, Vanadio.

Fuente: Schinitman (2005)

CEMENTACIÓN DEL POZO

Durante la cementación, se utiliza una serie de químicos con distintos grados de toxicidad, siendo los más importantes el limo y la arcilla.

A estos se añade otros aditivos para acelerar (cloruro de sodio, silicato de sodio y carbonato de sodio) o retardar (lignina, lignosulfonato de calcio y derivados de celulosa) el proceso de cementación.

Se añade además agentes (derivados de celulosa), que prevén la pérdida de fluidos dispersantes (productos orgánicos sintéticos), controladores de densidad. Para reducir la densidad se usa compuesto como bentonita, tierra rica en diatomeas. Para aumentarla se utiliza barita y arena.

En la cementación se utiliza además compuestos antiespumantes, entre los que se incluyen ésteres fosfatados, ácidos grasos y alcoholes polioxilados.

Estos y otros químicos entran eventualmente al ambiente.

3. EXTRACCIÓN

La primera fase de la extracción es exploratoria, para evaluar el tamaño de las reservas presentes. Una vez perforado el pozo, se extrae una cantidad de crudo diariamente. El crudo extraído (desechos de pruebas) es colocado en la piscina de desecho, contribuyendo aun más a la contaminación presente en esas piscinas. En otros casos se quema. Se calcula que por cada pozo se generan unos 42.000 galones de desechos de prueba (Reyes y Ajavil, 2005).

Una vez declarada su viabilidad comercial, se incrementa el número de pozos, y con ello los impactos antes descrito.

Cuando el pozo empieza a extraer petróleo de manera regular, se realiza cada año o dos veces al año, el reacondicionamiento de los pozos, cuyos desechos tóxicos son colocados en las piscinas.

A partir de estas piscinas puede haber una migración vertical de los contaminantes hacia los acuíferos, pero también desde las piscinas de desechos, las mismas que en algunos casos son escavados hasta el nivel de los acuíferos.

Dado que las piscinas están abiertas, cuando llueve estas rebosan y los contaminantes migran a las áreas aledañas entre las que se incluye esteros, ríos, lagunas, zonas boscosas, otros ecosistemas naturales o áreas agrícolas.

Junto con el petróleo, salen del subsuelo dos tipos de compuestos asociados: las aguas de formación y el gas.

AGUAS SALOBRES TÓXICAS DE YACIMIENTOS PETROLEROS

Uno de los problema más significativos durante la extracción de petróleo, es el agua salobre presente en los yacimientos petroleros, y que sale a la superficie asociada con el crudo. Es conocida también como agua de formación, y representa uno de los problemas que con mayor dificultad enfrenta la industria petrolera (Hill, 2000).

La cantidad de agua de formación varía con la formación geológica. Hay campos petroleros que poseen volúmenes mayores que otros, como sucede con los yacimientos de crudos pesados⁵. En las operaciones petroleras más antiguas el volumen de aguas de formación se incrementa, el mismo que la puede ser varias veces mayor que la de petróleo extraído.

El agua de formación es un agua sedimentaria de 150 millones de años. Debido al prolongado contacto agua/roca, concentra niveles de salinidad (particularmente cloruro de sodio y otros sólidos) que pueden llegar variar de 30.000 p.p.m. ⁶ (por ejemplo en el caso de los campos operados por Petroecuador) a 100.000 p.p.m en yacimientos de crudos pesados (Reyes y Ajamil, 2005b).

En contraste, la salinidad de los ríos Amazónicos, o de otros cuerpos de agua dulce, que es de 7 ppm. La salinidad del agua del mar es de 35.000 ppm.

La temperatura del agua de formación sale a la superficie a temperaturas que cubren un rango de entre 32 a 73 grados centígrados, con una temperatura media de 55 grados centígrados.

En estudios hechos con organismos acuáticos de bosques tropicales de Venezuela se encontró que estos son muy intolerantes a la alta salinidad, especialmente cuando el cambio de salinidad es brusca. Lo mismo sucede con cambios de temperatura. Estos datos son relevantes ya que por ejemplo el agua de formación es mucho más salina que el agua de mar y sale a temperaturas muy altas. Los impactos en la fauna acuática son mayores cuando estos cambios son bruscos. Kyung S. Cheng (2001).

El contenido de las aguas de formación varía en los diferentes yacimientos, pero puede contener: Petróleo (500-5000 ppm⁷), sulfatos, bicarbonatos, Sulfuro de Hidrógeno, Cianuro, Dióxido de Carbono, metales pesados (Cadmio, Arsénico, Cromo, Plomo, Mercurio, Vanadio, Zinc).

De acuerdo a la legislación ambiental británica para el sector de petróleo y gas (UKOOA), toda descarga con crudo por sobre las 100 ppm debe ser reportada como un derrame petrolero.

⁵ El campo Edén Yuturi produce un promedio de 75 barriles de agua por cada 25 barriles de petróleo

⁶ Miligramos de sólidos por litro de agua

⁷ ppm: partes por millón

En 1993 la EPA⁸ estableció límites de toxicidad de 29 ppm de petróleo y grasas como promedio mensual de descargas de aguas de producción, con un promedio diario máximo de 42 ppm (American Petroleum Institute, 1995).

Hay varios estudios que revelan que hay un incremento en la sensibilidad del zooplancton (copépodos y otros) cuando están expuestas a aguas de formación (Gamble *et al.*, 1987). Son especialmente susceptibles los organismos en sus fases larvales y embrionarias. De acuerdo con algunos autores (Davies y Kingston, 1992), esto puede deberse a un proceso de acumulación de hidrocarburos lipofílicos en la fracción lípida de los tejidos y órganos embrionarios en desarrollo. Su efecto es mayor cuando se agotan las reservas grasas en las larvas. Esto causa graves impactos en el zooplancton. Efecos similares ocurren probablemente en los estadios embrionarios y postembrionarios de peces, dada su baja resistencia a la mayoría de contaminantes, incluidos contaminantes orgánicos (Patin, 1979).

La barita (sulfato de bario) se caracteriza por incorporar rápidamente el Radio en su estructura. El Radio 266⁹ y el Radio 228¹⁰ son dos elementos presentes en el agua de formación, como resultado de la descomposición de uranio y torio presentes en las rocas de formación productoras de petróleo (Reyes y Ajamil, 2005b). Aunque en el Ecuador no se han hecho estudios para medir la radioactividad en las aguas de formación, un estudio hecho por el Instituto Americano de Petróleo (API) en 1989 identificó material radiactivo gamma en un 42% de los niveles naturales (Reyes y Ajamil, 2005b).

Otra fuente de contaminación son los químicos utilizados en el proceso de extracción, muchos de los cuales son altamente tóxicos y otros de toxicidad desconocida. En algunas formaciones se utiliza biocidas para controlar la presencia de bacterias reductoras de sulfatos, pues producen hidróxido de sulfuro, que es muy corrosivo.

Adicionalmente, se utiliza compuestos orgánicos nitrogenados para proteger las paredes de las tuberías contra la corrosión. Con el fin de prevenir la cristalización de sales minerales se utiliza fosfanatos y ésteres fosfatados. Otros químicos utilizados en la producción que se encuentran presentes en el agua incluyen antiemulsificantes, antiespumante, químicos para controlar la formación de parafinas, solventes, entre otros.

El mercurio puede ser un sub-producto eliminado junto con las aguas de formación, en algunos yacimientos hidrocarbúferos, en los campos de gas natural producido en el golfo de Tailandia por Unocal y Total. El agua de producción contaminada por mercurio es eliminada al mar. Un estudio realizado en estas plataformas encontró que mercurio, en cuatro en niveles de la cadena trófica marina en Bang Sarae. Los 30 peces carnívoros recolectados, tenían presencia de mercurio. El veinte por ciento

⁸ EPA: Environmental protection agency

⁹ con un tiempo de vida medio de 1.600 años

¹⁰ vida medio de 5,8 años

de estos peces grandes tenían concentraciones de mercurio de 1.5ppm¹¹. en otras zonas encontró concentraciones de 2.0 o 3.0 ppm (citado en Fahn, 1998). El mercurio es un metal cuya transformación en la naturaleza es extremadamente lenta, y por lo tanto, permanece en ella produciendo impacto directo en la salud humana, los ecosistemas naturales y los sistemas agrícolas.

Un promedio de 1'500.000 barriles de agua se están produciendo en los campos petroleros, con 250 mil barriles correspondientes a Petroproducción y 1'250.000 barriles a las empresas privadas. De cada 4 barriles extraídos, 3 corresponden a agua (Reyes y Ajamil, 2005b).

En algunas operaciones petroleras, el agua de formación es "tratada" en tres piscinas abiertas colocadas en tres niveles descendentes, donde el agua llega mediante tuberías, bajo el presupuesto que en cada piscina las partículas de sal son retenidas por decantación. Con frecuencia se forman piscinas artificiales junto a las piscinas de formación, con altos contenidos de petróleo.

Una vez "purificada" el agua sale al ambiente pues es vertida a cuerpos de agua aledaños. Sin embargo, es fácil observar que el agua de ríos y esteros cercanos a las piscinas de agua contienen importantes cantidades de hidrocarburos. Es fácil encontrar atrás de las estaciones petroleras pantanos creados por el vertimiento de las aguas de formación.

Estos desechos pueden infiltrarse en el suelo subterráneo. El agua de lluvia entra en la piscina, se mezcla con los desechos tóxicos y se desborda por las paredes de piscinas.

Otra forma de tratar las aguas asociadas es el confinamiento o reinyección. Esta puede ser inyección anular, en la que el agua se inyecta en la parte anular de los pozos (entre la tubería de revestimiento y la tubería de producción). El fluido se vierte en la primera zona permeable, debajo de la tubería de revestimiento, cercana a la superficie.

Puede ser hecha también por evaporación, utilizada especialmente en zonas áridas, donde se presenta una elevada transpiración que supera la precipitación. En estas zonas, el agua de producción se deposita en hoyos para ser evaporadas, contaminándose las fuentes y corrientes de agua subterráneas.

La reinyección en pozos pone en riesgo de contaminación a los acuíferos, sobre todo cuando los pozos de reinyección no llegan al mismo estrato del que se extrajo el crudo, o la distancia de acuíferos es menor de 10 Km. A pesar de ser más segura que las tecnologías descritas anteriormente, no es totalmente confiable porque:

1. Algunas formaciones no tienen la capacidad de albergar toda el agua que necesita confinarse
2. Estas formaciones pueden tener sellos lutíticos y arcillosos de baja

¹¹ Estándar de la OMS es de 0.5 partes por millón (ppm).

- permeabilidad pero volumétrica y estructuralmente discontinuos y con fallas
3. Como resultado de lo anterior, puede darse migración del agua hacia estratos superiores, lo que contaminaría los acuíferos subsuperficiales y hasta superficiales.

Otro problema es que las aguas de formación son corrosivas, produciendo daños en los tanques, filtros y líneas de flujo¹² utilizados en su tratamiento. Debido a esto, los sistemas de reinyección colapsan.

Las aguas de formación pueden entrar al medio ambiente cuando se producen derrames por rotura de las líneas que las transporta, por desbordamiento o goteo de los tanques donde se almacenan o accidentes en los pozos reinyectores.

Adicionalmente, el agua de formación es utilizada en la recuperación secundaria. El agua es reinyectada a la formación productora en el pie acuífero para un recobro adicional de petróleo del yacimiento debido al mantenimiento de la presión.

Impactos de las Aguas de Formación

Cuando estas aguas sedimentarias son vertidas o llegan accidentalmente a los ríos y otros cuerpos de agua aledaños, pueden generar reacciones ambientales tipo cascada.

La mayoría de especies dulceacuícolas mueren, debido a los altos niveles de salinidad y a la presencia de otros contaminantes. Por un proceso de selección natural, sobreviven únicamente aquellas especies que tienen tolerancia a la alta salinidad, produciéndose impactos en toda la red trófica.

Los cuerpos de agua afectados poseen poquísima diversidad y alta densidad de comunidades tolerantes a la salinidad.

Estas aguas puede contaminar los acuíferos, por migración vertical de los contaminantes, pues se ha encontrado que pozos domésticos tienen niveles altos de salinidad.

GAS ASOCIADO

En muchos campos petroleros se extrae gas natural que está asociado con el petróleo. Aunque a veces el gas natural es utilizado como fuente de energía en las mismas instalaciones o es procesado, en otros casos simplemente se lo quema.

Las principales emisiones atmosféricas provenientes de la quema de gas son el CO₂, Metano, Etano, Butano, Propano, Hidrógeno, Helio y Argón, Hidrocarburos Aromáticos Volátiles, Oxido de Nitrógeno, Dióxido de Sulfuro, Ozono, Monóxido de Carbono, Halones, CFCs.

¹² las líneas de flujo son ductos que transportan las aguas de formación procedentes de distintos pozos a una estación central, donde el crudo, el gas y el agua son separados

La quema de gas acelera el proceso de calentamiento global y afecta a la biodiversidad.

El gas natural tiene una muy baja solubilidad en el agua. El metano (gas que se encuentra en mayor concentración), en agua destilada tiene una solubilidad de 90ml/l. En agua marina su solubilidad es de 36g/l.

En zonas cercanas a las estaciones de separación, donde el gas se quema día y noche, se producen lluvias ácidas con altos contenidos de hidrocarburos. En el agua de lluvia se ha encontrado hidrocarburos policíclicos aromáticos, muy cancerígeno. Al llegar al suelo, contamina los cultivos y otras zonas.

El hidróxido de sulfuro es un subproducto de la quema de gas y de la perforación. Este es un contaminante que puede ser muy tóxico para la biodiversidad local.

Entre los principales impactos en la biodiversidad, se registran disminución de las poblaciones de insectos que, atraídos por la luminosidad generada por la quema de gas (longitud de onda infrarroja), cada noche mueren millones de insectos incinerados por el calor (Reyes y Ajamil, 2005a).

Por otro lado, se producen desequilibrios en las poblaciones de microorganismos del filoplan y filosfera, especialmente de las levaduras, que son muy susceptibles a los cambios ambientales. Se produce cambios en el patrón de distribución y en la estructura de las poblaciones de los micro-organismos aéreos. Hay también impacto en las poblaciones de las aves que están expuestas directamente a la quema del gas.

En el mar el gas penetra rápidamente en el organismo de los animales marinos a través de las branquias causando problemas en la fisiología de los sistemas respiratorio, nervioso, en la circulación de la sangre en la actividad enzimática y otros. Esto hace que cambie el comportamiento de los peces, su excitabilidad, incremento o disminución de actividad, etc. (Patin, 1999).

Las poblaciones de peces afectados muestran síntomas de cambios en su comportamiento, como un incremento en sus actividades. El tiempo que pasa desde que el pez entra en contacto con el gas y manifiesta síntomas es relativamente corto.

Exposiciones continuas al gas metano provoca un envenenamiento crónico. Pueden haber impactos acumulativos a nivel bioquímico y fisiológico. Se producen rupturas de los tejidos (especialmente de los ojos y aletas), un alargamiento de la vejiga natatoria, cambios en el sistema circulatorio y otras patologías (Patin, 1999).

En el Ecuador hay un promedio histórico de 140 millones de pies cúbicos de gas quemados diariamente (Reyes y Ajamil, 2005a).

La quema constante de gas, así como la actividad de bombas, motores,

incineradores y otras instalaciones petroleras produce un incremento de temperatura en el área de influencia.

EL PETROLEO CRUDO

El crudo está formado por una mezcla de sustancias que son tóxicas para el medio ambiente.

El petróleo contiene, además de los hidrocarburos, otros compuestos asociados como son azufre, metales pesados como es el vanadio, sales inorgánicas y otras sustancias tóxicas, algunas de ellas radioactivas.

Toxicidad del crudo

- ❖ Se acumula en hábitats acuáticos de baja energía como lagunas y pantanos, produciendo trastornos en la integridad del ecosistema
- ❖ En sedimentos pueden incorporarse y re contaminar la columna de agua, así como producir efectos a largo plazo en las comunidades bentónicas.
- ❖ Permanece inalterado y tóxico por debajo de la capa superficial aeróbica, ya que allí el proceso de degradación es muy lento
- ❖ El petróleo ingresa desde su inicio en las cadenas alimenticias a través del zoo y fitoplancton.

Los organismos más vulnerables son:

- ❖ Fitoplancton.- El petróleo interrumpe la fotosíntesis porque reduce la penetración de luz. Inhibe o retrasa la división celular
- ❖ Componentes del zooplancton
- ❖ Huevos y juveniles acuáticos.- Letal a 100 ppb
- ❖ Animales que se alimentan por filtración
- ❖ Animales que absorben el alimento por quimio-recepción
- ❖ Animales que viven en túneles acuáticos pueden ahogarse por la presencia de petróleo
- ❖ Tortugas acuáticas y otros reptiles
- ❖ Peces bentónicos.- Produce larvas deformadas
- ❖ Aves acuáticas-. Alteraciones fisiológicas por ingestión crónica de agua contaminada, incluyendo aceleración de la función hepática para eliminar el petróleo ingerido), debilidad general, pérdida de flotabilidad, por lo que se ahogan, las plumas pierden la capacidad aislante por lo que están más expuestas a cambios climáticos. Son presa fácil de predadores porque su movilidad se altera
- ❖ Mortalidad en huevos de aves a concentraciones de 20 ppb, producida por contaminantes traídos por las hembras al nido junto con los alimentos.

DERRAMES

Los derrames petrolero ocurren por un manejo rutinario negligente (goteo de las tuberías y otra infraestructura, corrosión de la infraestructura), por accidentes y por atentados. Aunque los segundos tienen mayor impacto por su magnitud, los

primeros constituyen una fuente de contaminación permanente.

El impacto de los derrames petroleros varía de acuerdo al tipo de crudo transportado, el tamaño del derrame, las condiciones climáticas al momento del derrame y de los ecosistema aledaños.

Cuando la contaminación llega al agua, los componentes más pesados tienden a hundirse en los sedimentos, provocando una contaminación constante del agua, y afectando a la fauna acuática y fundamentalmente a los organismos que viven en el fondo de los ríos y de los lagos. Las zonas de baja energía son también propensas a la concentración de contaminantes.

Los componentes del petróleo pueden entrar en la cadena alimenticia. Los componentes mas livianos o volátiles se evaporaran y son depositados en otras partes por la lluvia.

El petróleo quemado es igualmente una fuente de contaminación que se transporta con el aire y se deposita con las lluvias.

Un río afectado por un derrame de crudo pierde toda su capacidad de sostener flora y fauna acuática, muchas de las sustancias que contiene el crudo se depositan en los sedimentos y son de difícil degradación y fácilmente bioacumulables. Se calcula que metales pesados como el vanadio puede permanecer en los sedimentos de los ríos por lo menos unos 10 años.

Luego de un derrame petrolero, se altera la composición de las poblaciones de peces, pues desaparecen las especies sensibles a la contaminación, y se seleccionen las especies más resistentes.

La contaminación en el suelo por petróleo y sus compuestos asociados hace que los compuestos solventes se filtren, y los sólidos y grasas permanezcan en la superficie o sean llevados hacia tierras más bajas. La contaminación de suelo provoca la destrucción de los microorganismos del suelo, produciéndose un desequilibrio ecológico general.

Cuando suceden derrames en el mar, existe un promedio de recuperación del crudo, cuando las condiciones de limpieza son óptimas del 10-15%, por lo que éstos tienen generalmente efectos a largo plazo ya que el crudo permanece en los sedimentos, constituyendo una fuente continua de contaminación.

Los impactos del crudo en el medio ambiente marino se observa en forma más inmediata en la biota sésil. La mortalidad de plantas e invertebrados sésiles es mayor en sitios donde se acumula el petróleo (IPIECA, 2000).

Organismos como los Trichópteros, Neurópteros y Plecópteros, son sensibles a la alteración del medio (río o lagos) y son los primeros en desaparecer; otros organismos como los Chironomidae son resistentes a la contaminación de las aguas, debido a que la hemolinfa de su organismo tiene un componente similar a la

sangre humana, que le permite capturar Oxígeno con más facilidad y poder sobrevivir en aguas contaminadas.

Algunos contaminantes asociados con el crudo provocan alteraciones en las comunidades piscícolas, por lo que tanto la diversidad como la estructura de las poblaciones de peces son alteradas, aumentan las poblaciones de las especies más resistentes, y desaparecen o disminuyen las poblaciones de las especies menos resistentes, lo que afecta a la seguridad alimentaria de las poblaciones locales (IPIECA, 2000^a).

Por otro lado, suelen aparecer alteraciones morfológicas en los peces, como la aparición de una aleta más, algo de gigantismo o enanismo, alteración en la coloración, perturbación del desarrollo larval y presencia de tumores.

Los peces acumulan contaminantes en sus tejidos grasos, provocando el envenenamiento crónico de las poblaciones que se asientan tradicionalmente en las orillas de los ríos para proveerse de agua y pescado.

En casos de contaminación del agua, los anfibios son fuertemente afectados debido a que ellos respiran a través de su piel, que es muy sensible y a que utilizan el agua y la tierra en todos sus ciclos vitales, pero especialmente en la reproducción.

Algunas especies de anfibios están restringidas a ciertas zonas del bosque y hábitats muy específicos. Para vivir y reproducirse necesitan de vertientes de agua o riachuelos con condiciones particulares de corrientes, composición del agua, incidencia de luz en los microhábitats, disponibilidad de escondites, etc. El contacto con contaminación de gran magnitud puede conducir a la extinción de especies endémicas con requerimientos muy estrictos.

Las especies que son depredadoras como son mamíferos carnívoros, las aves de presa, las libélula y otros invertebrados, son muy susceptibles a la contaminación pues, acumular durante toda su vida alimento contaminado.

Entre los animales domésticos se ha registrado que aves de corral mueren en contacto con las aguas de formación y crudo. En el caso del ganado vacuno se ha visto que se produce un alto número de abortos de vacas preñadas, y si la exposición con las aguas de formación es muy alto, estas mueren.

Científicos del estado de Zulia, en el occidente de Venezuela, donde ha habido explotación petrolera desde hace 90 años, investigaron los efectos del vanadio, presente en el petróleo y los residuos de hidrocarburos. Ellos encontraron que el Vanadio es capaz de producir mutaciones genéticas en plantas, en peces, aves y reptiles.

En el Ecuador, Narváez (citado en Reyes, 2005) señala que entre 1972 y 2001, en el SOTE han ocurrido 61 eventos contingentes que significaron 600 mil barriles de crudo.

1. 5. TRANSPORTE: OLEODUCTOS Y CARRETERAS

OLEODUCTOS

El crudo extraído de los pozos petroleros, es transportado por oleoductos a una infraestructura central donde es tratado (por ejemplo se separa el agua y gas del crudo), y luego este crudo se transporta a una estructura central para su exportación. El agua de formación y el gas son transportados por líneas de flujo.

Miles de kilómetros están atravesados por oleoductos y líneas de flujo en zonas de explotación petrolera. Los oleoductos y líneas de flujo pueden estar enterradas o están tendidos en la superficie y son una fuente constante de contaminación, ya sea por rupturas accidentales o por goteo rutinario debido al envejecimiento de la tubería.

La construcción de oleoductos en países con actividad sísmica o volcánica es especialmente peligroso. Los oleoductos en el Ecuador atraviesa en sentido Este - Oeste la parte septentrional del país, por lo que en su trayectoria se encuentran todos los sistemas de falla que afectan al país. El Estudio de Impacto Ambiental para la construcción del Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) en el Ecuador, identifica 94 fallas sísmicas en su ruta. Reconoce además que el Ecuador "tiene una geología muy dinámica la cual está marcada por grandes terremotos y episodios volcánicos" y añade que de los 8 volcanes activos, el OCP puede ser influido severamente por seis de ellos (Acción Ecológica, 2001).

Un estudio hecho sobre las actividades en el Bloque 10¹³ en la Amazonía Ecuatoriana, se encontró que durante la construcción de 136 Km. de oleoducto se afectó zonas de bosque virgen, atravesó la Reserva Ecológica Antisana, que alberga un rango amplio de ecosistemas muy frágiles, y por la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Sumaco-Napo Galeras. Además este oleoducto representa atraviesa por una falla geológica de gran actividad sísmica.

El principal riesgo son los derrames.

En el Ecuador, 600 mil barriles se han derramado desde 1972 hasta el año 2001. El 50% de estos derrames se presentaron en un tramo comprendido entre las poblaciones de Baeza y Papallacta. En ese tramo del oleoducto hubo un promedio de dos derrames grandes al año (Reyes, Ajamil y Hernández, 2005)

En cuanto a los derrames procedentes de los miles de kilómetros de líneas de flujo (de reinyección y transferencia), así como de oleoductos secundarios se ha reportado que entre 1994 y 2002 se produjeron 779 derrames (con un promedio de 72 anuales y 8 mensuales)

A ambos lados del tendido del oleoducto se afecta una superficie (derecho de vía) que no puede ser usado en ninguna otra forma de uso. Para el derecho de vía se

¹³ Hoy operado por Agip

tala bosques o ecosistemas naturales, o se afecta zonas donde existe producción agrícola. Estas zonas enfrentan constantes riesgos de derrames petroleros.

El tendido del oleoducto interrumpe corredores biológicos para los animales como son zonas de anidación, de cacería, saladeros y de reproducción.

Los suelos adyacentes a las líneas de flujo y oleoductos están totalmente degradados por los constantes derrames. A lo largo del tendido de los oleoductos hay gran cantidad de chatarra, incluyendo tuberías abandonadas y otra chatarra procedente de la reparación de estas áreas.

Durante la construcción del gasoducto que saca el gas de Camisea, una Delegación Internacional (2002) reportó que para abrir los 10 metros de derecho de vía a través de las estrechas cumbres del Perú, se utilizó tierra fértil para rellenar las zanjas en el fondo. La erosión generada por la construcción ha producido deslaves de tierra y piedras, y taponamientos de ríos. La erosión ha producido además contaminación del agua potable en las comunidades de Poyentimari, Monte Carmelo y Simáa.

Dependiendo de su longitud, los ductos pueden afectar extensas áreas y atravesar por áreas ambientalmente frágiles. Este es el caso del gasoducto Urucú - Porto Velho, que atravesará por bosques primarios amazónicos; 160 cursos de ríos, incluyendo ríos como el Solimoes (Amazonas), Negro, Purús que son los ríos con mayor caudal en el mundo, y por lagos de gran importancia como el Lago Coarí.

La ruta del gasoducto de Yadana, que trae el gas del Mar de Andaman a Tailandia, corta una ruta de 20-80 metros de ancho a través de los 26 kilómetros del ecosistema de bosques occidentales de Tailandia, que cubre un área de aproximadamente 600.000 hectáreas contigua con bosques que cruzan la frontera en Birmania. Los bosques occidentales, forma una de las más grandes áreas protegidas del sudeste de Asia, abarcando 14 Áreas Protegidas entre las cuales está el Santuario de Vida Silvestre de Thung Yai Naresuan-Huai Kha Kaeng, declarado por la UNESCO Patrimonio Mundial.

Los bosques occidentales tailandeses son el hábitat natural de 120 especies de mamíferos terrestres, 45% del total de Tailandia, y 33% del total de especies conocidas en el Sudeste Asiático continental. Cuarenta y cinco especies de mamíferos están clasificadas como amenazadas en Tailandia (53% del total del país), y por lo menos 15 han sido clasificadas internacionalmente como amenazadas, incluido el tigre, leopardo manchado, jaguar, pantera, búfalo de agua salvaje, y elefante. El área forestal es el hogar de nueve especies de mamíferos en peligro incluyendo gibones de manos blancas, tapires de Malasia, elefantes y tigres. En términos de insectos, el complejo forestal es considerado como el más rico en diversidad de especies del Sudeste Asiático (Rajesh, 1998).

En el mar el crudo extraído puede ser almacenado en tanques de almacenamiento en las plataformas marinas, o transportado por oleoductos a infraestructura en tierra. Los oleoductos pueden ser una fuente constante de derrames, ya sea por

rupturas accidentales o por goteo rutinario debido al envejecimiento de la tubería.

El impacto de estos derrames varía de acuerdo al tipo de crudo transportado, el tamaño del derrame, las condiciones climáticas, de las mareas existentes al momento del derrame y de los ecosistema aledaños.

Cuando suceden derrames en el mar, existe un promedio de recuperación del crudo, cuando las condiciones de limpieza son óptimas del 10-15%, por lo que éstos tienen generalmente efectos a largo plazo ya que el crudo permanece en los sedimentos, constituyendo una fuente continua de contaminación.

Los derrames petrolero ocurren por un manejo rutinario negligente (goteo de las tuberías y otra infraestructura petrolero), o por accidentes.

Los impactos del crudo en el medio ambiente marino se observa en forma más inmediata en la biota sésil. La mortalidad de plantas e invertebrados sésiles es mayor en sitios donde se acumula el petróleo.

Los oleoductos y la presencia del pozo mismo puede producir un obstáculo físico en el lecho marino, con impactos negativos en la fauna local.

Las fugas de gas en los gasoductos pueden producir incendios. El Gasoducto del Norandino, construido en el Norte de Argentina para llevar gas a Chile, atravisa un tipo de ecosistemas subtropicales llamados yungas. Debido a una fuga se produjo un incendio que quemó parte de un cerro, el suelo quedó ennegrecido por el incendio y unos mil metros cuadrados de vegetación totalmente quemada (El Tributo, 2001). Un incendio similar ocurrión en Lawachhara National Park en Bangladesh (Rahman, 2004).

CARRETERAS

Para la construcción del oleoducto y su mantenimiento, así como para servir a toda la industria petrolera, se necesita abrir carreteras.

Un impacto indirecto de la construcción de las carreteras es que estas constituyen una puerta abierta a la colonización. William Laurance del Instituto Smithsonian de InvestigacioneS Tropicales en Panamá y Presidente Electo de la ATBC. "En la frontera Amazónica, las carreteras son como imanes que atraen a los leñadores, a agricultores que practican la tumba y quema al igual que a los cazadores comerciales, quienes usan estas vías para acceder al bosque y a la vida silvestre que en él habita."

Es como abrir una caja de Pandora", dice Laurance. Tan pronto las vías son construidas, es casi imposible que un gobierno detenga a los colonos y cazadores. Aun si se prohíbe que personas de fuera invadan el parque, los pobladores locales migrarán rápidamente a las vías y desde allí empezaran a cortar y quemar el bosque" (Asociación de Biología Tropical y Conservación, 2005).

Este efecto fue documentado luego de la apertura de la Vía Maxus, en el Parque Nacional Yasuní, abierta para servir a las operaciones de la empresa Repsol, donde se observó la fragmentación del bosque y la modificación de los ciclos hidrológicos (Losos *et al*, 2005)

Luego de la construcción de una vía, hay estímulos visuales, acústicos y mecánicos que pueden afectar al comportamiento y distribución de las especies (Goosem, 1997). Por ejemplo, el ruido de los vehículos y la maquinaria de la carretera de Maxus se escucha hasta 1,5 Km. al interior del bosque. Por tanto, la diversidad de aves cerca de las carreteras se ha reducido (Canaday y Rivadeneira, 2001). Los impactos de las nubes de polvo en el camino de la dentro de los bosques tropicales también son una preocupación

Se ha registrado también mortalidad de animales debido a los vehículos, sobre todo de animales de movimiento lento y otras especies incapaces de reaccionar frente a los vehículos. Se ha documentado una tasa de mortalidad elevada de culebras y ranas en la Vía Maxus transitada por tractores y otros vehículos. Es posible que dichas matanzas hayan diezclado las poblaciones de culebras en la vecindad de la vía Maxus. También se ha observado el atropellamiento de un ocelote (*Leopardus pardalis*) por un tractor, en esta vía (Científicos Preocupados por el Parque Nacional Yasuní, 2005).

Durante la operación petrolera de Texaco, donde se abrió carreteras en medio de selvas vírgenes tropicales, se deforestó de manera directa o indirecta dos millones de hectáreas (Reyes y Ajavil, 2005).

La región donde se asentó Texaco en los años sesenta estaba ocupada por comunidades indígenas que producían muy poco impacto en el bosque. Con la construcción de red de carreteras, se cambió totalmente el uso del suelo. Hoy la zona está dedicada a usos industriales (extracción petrolera), agroindustrial, sobre todo de palma africana o a producción a pequeña escala de productos como maíz y café, con impactos muy fuertes en la biodiversidad local y la estructura del bosque tropical (Reyes y Ajavil, 2005a).

2. DESTINO AMBIENTAL DEL CRUDO Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN

El destino ambiental, comportamiento y efectos de los derrames petroleros dependen mucho del tipo de derrame, su cantidad y el ambiente receptor.

El petróleo está compuesto por diferentes componentes, cada uno de los cuales tienen distinto grado de toxicidad, y diferente tiempo de permanencia en el ambiente (di Toro, *et al* 2007).

Estudios hechos por Peterson *et al* (2003) sobre la respuesta de los ecosistemas luego del derrame del buque Exxon Valdez en Prince William Sound, Alaska Prince William Sound demuestran que se debe replantear la manera como se evalúan los impactos ecológicos del petróleo y por extensión, de otros químicos.

Previamente, se asumió que los impactos a las poblaciones biológicas de dicho derrame se reducía casi exclusivamente a la mortalidad aguda. Sin embargo, en el ecosistema costero de Alaska, la persistencia inesperada de petróleo a niveles tóxicos y las exposiciones crónicas, aun a niveles subletales, han afectado de manera continua a la vida silvestre.

Aquí se ha observado reducciones en las poblaciones biológicas y efectos cascadas en las comunidades y en las redes tróficas. Esto nos indica que hace falta más estudios para entender el desarrollo de la toxicidad en los ecosistemas, con el fin de determinar la toxicidad crónica, retardada y los impactos y riesgos indirectos a largo plazo.

Los suelos tropicales probablemente tienen las condiciones óptimas para favorecer a la degradación del crudo, pero existen otros factores ambientales que incrementan la toxicidad de los hidrocarburos, como es el pH, la temperatura y la irradiación. Dado que los suelos tropicales pueden ser muy ácidos (Baillie, 1996) la toxicidad de los contaminantes pueden ser mayores.

En general, el crudo ligero y el petróleo refinado (como diesel y gasolina) pueden penetrar mejor en el suelo y llegar a las capas freáticas, y ser muy tóxico para los microflora del suelo. Por otro lado, pueden evaporarse con mayor rapidez, y por lo mismo, persistir por menor tiempo en el ambiente.

Crudos más pesados son menos tóxicos en el corto plazo, pero pueden permanecer en el ambiente por mucho más tiempo.

De igual manera, los crudos livianos pueden penetrar más eficientemente en la columna de agua que los crudos pesados y ser muy tóxicos, pero los crudos pesados permanecen por más tiempo en el ambiente.

La experiencia aprendida en los derrames de Exxon Valdez y durante la guerra del Golfo muestra que los crudos pesados han permanecido por mucho tiempo en la

línea costera. Por otro lado, los derrames mar afuera en las Islas Shetland¹⁴ en 1993 y Milford Haven en 1996¹⁵, fueron el doble en magnitud en relación con los dos anteriores, sin embargo, sus impactos ambientales fueron menores a largo plazo.

Dado que el petróleo es más liviano que el agua, este puede permanecer en el agua por mucho tiempo sin descomponerse y ser una constante fuente de contaminación. Debido a ser altamente flameable, crudo puede también generar incendios cuando está en el ambiente.

Estudios hechos en cuerpos de agua superficiales cercanos a infraestructura petrolera en la Amazonía del Ecuador, se encontró que bajo condiciones de continua contaminación de hidrocarburos fotoactivos, a pesar de que había un nivel razonable de contaminación, se registró un alto grado de sensibilidad por parte de organismos acuáticos en el área (Wernersson, 2004).

Wernersson encontró que los sistemas de agua dulce (incluyendo pozos de agua para el consumo humano) en la región amazónica donde hay explotación petrolera, está expuesta a una continua contaminación ya sea por goteo proveniente de distintas fuentes de contaminación. Los sedimentos en estos cuerpos de agua presentaron toxicidad en organismos dulceacuícolas, lo que constituye un riesgo ambiental (Wernersson, 2004).

Varios microorganismos son capaces de degradar hidrocarburos, pero su biodegradación es extremadamente baja.

Los principales factores que limitan la degradación del petróleo son la resistencia y toxicidad de algunos de sus compuestos y la escasez de organismos capaces de degradar hidrocarburos (Atlas, 1981).

La degradación microbiana del petróleo se produce por ataque a sus fracciones alifáticas y aromáticas ligera. Los compuestos aromáticos de alto peso molecular las resinas y asfaltos se consideran recalcitrantes o son biodegradables muy lentamente.

En la oxigenación de los hidrocarburos aromáticos, los microorganismos eucariotes (algas y hongos) producen *trans*-dioles mientras que la mayoría de bacterias oxidan los hidrocarburos en *cis*-dioles (Cerniglia, 1984; Gibson y Subramanian, 1984). Los *trans*-dioles formados a partir de varios hidrocarburos aromáticos polinucleares son cancerígenos.

Muchos compuestos aromáticos polinucleares condensados son muy resistentes a la degradación o totalmente refractarios. Una razón de esa resistencia es que la enzima responsables de la degradación de los compuestos aromáticos polinucleares en algunos casos dependen de la presencia de compuestos aromáticos de bajo peso molecular (Heitkamp y Cerniglia, 1988). Uno de los problemas que enfrentan

¹⁴ Derrame provocado por el Braer

¹⁵ Derrame producido por el Sea Empress

los microorganismos para degradar los PAH con elevado número de anillos es su extremadamente baja solubilidad en el agua.

Las grandes masas de petróleo, formando capas espesas, bolas de alquitrán, o acumulación en ambientes quiescentes, persisten más tiempo porque la superficie disponible para la actividad microbiana es limitada (Atlas y Bartha, 2002).

En los suelos, el petróleo se adsorbe en gran cantidad a la materia particulada. Esto disminuye su toxicidad, pero aumenta su persistencia. A corto plazo, el petróleo y las fracciones del mismo que contienen componentes asfálticos no se degradan significativamente. Los residuos y productos de polimerización, formados a partir de reacciones entre los radicales libres de los distintos intermediarios del proceso de degradación, forman bolas de alquitrán. El alquitrán es un material parcialmente oxigenado con un elevado peso molecular; es muy resistente a la degradación y la concentración de glóbulos y bolas de alquitrán presente en el medio ambiente está aumentando (Butler *et al*, 1973).

Los accidentes de petróleo en la tierra pueden ser más fácilmente contenidos que en el agua, pero hidrocarburos de baja viscosidad pueden penetrar en el subsuelo y persistir, debido a las condiciones anóxicas predominantes. También pueden contaminar acuíferos (Atlas y Bartha, 2002).

GENERACIÓN DE DESECHOS Y FOCOS DE CONTAMINACIÓN

De acuerdo a la evaluación hecha por la consultora HBT Agra¹⁶ (1993) sobre las prácticas convencionales de la industria petrolera en zonas tropicales, podemos identificar las siguientes fuentes de contaminación por prácticas cotidianas:

- ❖ Desechos producto de la combustión de petróleo y sus derivados, emanaciones de compuestos volátiles
- ❖ Petróleo crudo de los derrames, goteo y petróleo contenido en los fluidos de desecho
- ❖ Agua de formación proveniente de las estaciones de separación, de los tanques de lavado, del proceso de estabilización, de las rupturas de las líneas de flujo y del oleoducto, sumideros y drenajes.
- ❖ Fluidos de re-acondicionamiento de los pozos: agua de control del pozo, cemento, aditivos químicos, petróleo, agua de formación, derivados del petróleo.
- ❖ Fluidos y ripsos de perforación: aditivos químicos, cemento, minerales, agua de formación, petróleo
- ❖ Fluidos de pruebas de producción: petróleo, agua de formación, gas natural
- ❖ Aditivos químicos, anticorrosivos, biocidas
- ❖ Aguas de escurrimiento: sólidos en suspensión, aceites y grasas

¹⁶ Contratada por la empresa Texaco a propósito de una auditoría ambiental que la empresa estaba obligada hacer cuando finalizó sus operaciones en el Ecuador.

OTRAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Durante la construcción de carreteras y otra infraestructura petrolera pueden producirse altas cantidades de polvo de distinta naturaleza, el que se deposita en las hojas de la vegetación adyacente limitando y hasta impidiendo la fotosíntesis. Cuando las carreteras son mantenidas utilizando desechos de crudo, cuando se levanta polvo en la carretera, se levanta además crudo.

Durante la perforación se utiliza maquinarias que funcionan con combustibles fósiles, que genera los gases asociados con la combustión, incluyendo el óxido de nitrógeno, óxido de sulfuro, CO₂ y partículas. Estos gases son producidos en una área reducida, pero de alta concentración, produciendo un impacto ambiental muy localizado en los organismos aéreos.

Otras fuentes de contaminación son:

- ❖ Los fondos de tanques y aceite residual
- ❖ Los almacenes de químicos peligrosos y tóxicos, combustible y otros
- ❖ Los químicos y residuos utilizados en las distintas fases de la operación son dispuestos en el ambiente
- ❖ Las aguas grises y negras
- ❖ Los desechos del mantenimiento de los carros fuera de los sistemas hidrológicos naturales
- ❖ Presencia de plásticos y chatarra, procedente de toda la operación petrolera. Esto, junto con otros desechos sólidos generados, son incineradores de basura, o en el ambiente quedan depósitos de basura y chatarra
- ❖ Las aguas de lavado, así como de los lubricantes usados
- ❖ las vías por décadas era “en antena” con crudo procedente de los campos petroleros, constituyendo una constante fuente de contaminación
- ❖ Los esteros son taponados por el paso de la carretera, lo que constituye un foco de generación de enfermedades transmitidas por vectores que cumplen una fase vital en aguas estancadas

UTILIZACION DE OTROS RECURSOS

A más de la contaminación del agua y el suelo, y de la deforestación que tiene lugar para la instalación de locaciones, pozos y campamentos, la apertura de las líneas sísmicas y de carreteras, durante la operación petrolera, se utilizan una serie de recursos naturales diferentes del petróleo, y que pueden generar impactos ambientales importantes. De acuerdo a Rosanía (1993) estos incluyen:

Agua.- Varias de las prácticas operacionales de la industria petrolera utilizan grandes cantidades de agua, la misma que es tomada libremente de los ríos y esteros aledaños. Esta agua es utilizada para hacer las pruebas de las líneas de flujo, perforación, para uso doméstico en los campamentos, y para fines propios de la industria.

Arena.- Todas las facilidades requieren de arena grava y ripio como materiales de construcción; para el control de los derrames, de la sedimentación, entre otros.

Estos provienen de ríos y minas de la zona, produciendo impactos en las playas, acelerando el proceso de erosión y sedimentación.

Madera.- Mucha de la infraestructura (por ejemplo las carreteras y las plataformas) utilizan maderas finas tropicales. Se usa madera también para rehabilitar las áreas de intervención, barreras de sedimentación, palizadas, tabla estacado, y otras obras de infraestructura. A esto hay que añadir que una vez que se tala un área no se sabe qué pasa con los árboles que son talados; cuál es el monto de madera talada y quién usufructa de esa madera.

Gas.- En algunas prácticas operacionales el gas producido es manejado y reutilizado en su mayoría con el sistema de calentamiento y generación de electricidad (Entrix, 2006).

Biodiversidad.- Algunas empresas, al acceder a los contratos petroleros, acceden también a la biodiversidad (incluyendo recursos genéticos y vida silvestre) presente en la zona, sin que el Estado tenga ninguna manera de controlarlo.

Animales de caza y pesca.- Los trabajadores cazan y pescan libremente en la zona de concesión.

3. IMPACTO EN LOS ECOSISTEMAS Y LA BIODIVERSIDAD

Como se ha visto anteriormente, en las diferentes fases de la actividad petrolera se produce deforestación.

Harper (2004) ha analizado las imágenes satelitales de la Amazonía Ecuatoriana comparando los años 1990 y 2000. El encontró deforestación alrededor de Lago Agrio, Shushufindi¹⁷ y Limoncocha¹⁸. El análisis de Harper muestra una pérdida enorme de lo que antes eran bosques intactos alrededor de las vías desde y hacia Lago Agrio, Shushufindi y Limoncocha. La laguna de Limoncocha solía ser una atracción internacional para la observación de aves debido a su diversidad. Sin embargo, ahora ya no es utilizada por los ornitólogos ya que la deforestación ha devastado las poblaciones de aves.

Se encontró también deforestación a gran escala a lo largo de la vía Auca¹⁹, y deforestación extensiva no solo a lo largo de la vía existente, sino también a lo largo de los caminos vecinales. En estas vías aumenta enormemente la extracción de recursos del bosque como madera y vida silvestre.

Es indudable que la actividad petrolera fragmenta la unidad ecosistémica de la amazonía, por lo que es incompatible para la conservación del área. Algunos elementos ecológicos que deben ser tomados en cuenta para evaluar los impactos de las actividades petroleras en los ecosistemas amazónicos son:

- ❖ El nexo que existe entre la cobertura vegetal, los cuerpos de agua y el clima mundial. La presencia de bosques, los mismos que son seriamente amenazados por la presencia de empresas transnacionales extractivas, afectaría gravemente el clima mundial, pues la mitad de las lluvias producidas en la cuenca se debe a la presencia de bosques y de cuerpos de agua.
- ❖ El nexo que existe entre la cobertura vegetal, el régimen de lluvias y el régimen fluvial. La vegetación de la amazonía actúa como una esponja que retiene el agua antes de que se filtre y se una a los ríos. La intervención del área por las actividades industriales como minería, tala comercial del bosque y actividad petrolera, produce una alteración del régimen de inundaciones, que es un factor muy importante en el equilibrio ecológico de la zona, y de las prácticas productivas tradicionales. Al momento que desaparece esta esponja natural, las temporadas de sequía e inundaciones serán más frecuentes.
- ❖ El nexo entre el régimen del río y el flujo de los sedimentos. El acarreo de nutrientes, consecuencia de ciclos de lluvias, con períodos de mayor o menor precipitación, hace posible la presencia de nutrientes en las partes

¹⁷ Zonas donde se asientan importantes campos petroleros operados por Texaco hasta 1992

¹⁸ En Limoncocha se encuentra un campo petrolero que fue operado por la empresa Occidental hasta el 2006

¹⁹ Vía abierta por la empresa Texaco para servir a los campos Aucas, Cononaco, Tigüino, entre otros.

más bajas, lo que permite una renovación anual del suelo amazónico. La interrupción de cuerpos de agua, es uno de los impactos de la actividad petrolera, por la construcción de carreteras, la apertura de pozos y la instalación de infraestructura, producirá una explosión súbita y acrecentada, un consecuente incremento de la sedimentación, pérdida de la fertilidad del suelo e impactos en el ecosistema como un todo.

- ❖ El nexo entre el curso del río y la reproducción de la vegetación. Los ciclos anuales de los ríos amazónicos, tienen gran importancia en los estadios reproductivos de los peces. Una gran cantidad de peces amazónicos dependen de las inundaciones del bosque para tener acceso a ciertos productos del mismo semillas y frutos caídos, cuya subsistencia se veía interrumpida si se altera el ciclo de inundaciones. Hay que anotar que los peces son una de las principales fuentes de proteína animal en la cuenca, así como los principales dispersores de semillas. Además, muchos peces migran corriente arriba y debajo de acuerdo a sus ciclos de apareamiento y producción de huevos, y dependen de ambientes esencialmente dispersos.
- ❖ El nexo entre las poblaciones biológicas de productores²⁰, consumidores²¹ y descomponedores²²: la exuberante vegetación del bosque tropical tiene algunos porcentajes de productividad primaria. La población de insectos, bacterias, hongos y otros descomponedores es tan pródiga. Cierran el ciclo nutritivo devolviendo material al sistema, para futura utilización. La relación entre productores (plantas), consumidores (animales), y descomponedores (micro-organismos) es fuertemente interdependiente. La vegetación depende de los descomponedores para poder capturar nutrientes, necesario para su desarrollo, y dependen de la fauna para la dispersión de semillas, polinización, etc. La fauna se alimenta de la vegetación, y al mismo tiempo provee un servicio de polinización y dispersión de semillas. Los descomponedores dependen de los productores y consumidores para cumplir su rol.

Es decir, las dinámicas del suelo, la vegetación, las lluvias, el régimen de los ríos muestran un estrecho ciclo de relaciones simbióticas, siendo cada uno dependiente del otro. El mantener estas dinámicas es incompatible con actividades extractivas a gran escala, pero sobre todo con extracción de recursos no renovables. Esto hace que a más de los impactos debido a la deforestación directa, hay otros impactos a más largo plazo, y que incluyen un área mayor a la zona talada. Entre estos impactos se incluye:

Pérdida de Hábitat

El primer impacto cuando se tala un bosque primario es la pérdida de hábitats. Es decir, la desaparición masas boscosas, poniendo en peligro especies vegetales y animales de alto endemismo o poblaciones vegetales muy pequeñas, debido a la deriva génica .

²⁰ Organismos que hacen fotosíntesis como plantas, algas y cianobacterias

²¹ Organismos que dependen de otros para adquirir sus fuentes alimenticias

²² bacterias y hongos que transforman el material muerto en nutrientes

La pérdida de hábitat es la razón más importante de la extinción de especies en los últimos tiempos, al disminuir el hábitat, se altera la distribución de las poblaciones biológicas por una falta de continuidad (Laurance, 1989).

Por otro lado, los bosques tropicales son muy complejos. Si bien la diversidad de especies es muy alta, el número de individuos de una misma especie es muy baja en un área determinada. Hay ciertas especies vegetales dióicas que dependen de otra planta para la polinización. Estas plantas florecen una vez al año, o cada dos años. Y hay plantas que producen flores femeninas y otras que producen flores masculinas. Si se tala por ejemplo un árbol que produce sólo flores masculinas, será muy difícil que los pocos árboles que producen flores femeninas sean polinizados, (pues el árbol ha sido talado), poniendo a esa población en peligro.

Pérdida de nichos ecológicos y efecto en cadena a nivel de la cadena trófica.

Cuando se tala un bosque, no desaparecen sólo los árboles sino una serie de otros organismos que dependen de la vegetación para sobrevivir, con quienes mantienen relaciones simbióticas muy estrechas. Por ejemplo, en los troncos de los árboles crecen especies epífitas, lianas, bejucos, que desaparecen con los árboles. Hay comunidades muy complejas de microorganismos descomponedores, endófitas, que a su vez mantienen interacciones muy poco entendidas con insectos y otros invertebrados.

El suelo de un bosque tropical maduro, está lleno de microorganismos y pequeños invertebrados descomponedores encargados del ciclo de nutrientes, de la fijación de N y la asimilación del P, los mismos que desaparecen también cuando desaparece el bosque.

Por otro lado, al deforestarse un área de bosque, no sólo se afectan las especies que son físicamente removidas, sino otras especies que dependen de esa vegetación.

Tenemos el caso de especies polinizadoras que dependen para su sobrevivencia, de determinadas especies de plantas. En muchos casos, existe una relación muy específica y especializada entre determinados polinizadores y las plantas que polinizan. Sin la planta, el polinizador también desaparece, generándose un efecto cascada pues hay otras especies que se alimentan de los polinizadores, por ejemplo determinadas aves, anfibios o reptiles también están en riesgo. De esta manera se afecta toda la cadena trófica.

Se han hecho varios estudios sobre la coevolución entre plantas y animales; y la relación entre la floración o fructificación de ciertas especies vegetales con la ecología reproductiva de determinadas especies polinizadoras, responsables de la dispersión de los frutos, etc. (Bawa y Hadley, 1990).

Lo mismo puede suceder con especies de aves o murciélagos que juegan un papel importante en la dispersión de semillas.

Esto se agrava con el hecho de que nuestro conocimiento sobre la interacción entre las distintas poblaciones en los bosques tropicales es aun muy limitada.

Las siguientes actividades producen fragmentación del hábitat: construcción de vías de acceso, plataformas, campamentos, pistas aéreas y helipuertos y piscinas para descargar desechos (Reyes y Ajamil, 2005a).

Erosión del suelo

Cuando la cubierta vegetal en una zona boscosa desaparece, el suelo se queda desnudo a expensas de la lluvia. En el Norte de la Amazonía Ecuatoriana, donde se ha desarrollado el porcentaje más alto de la actividad petrolera en el país, se registran precipitaciones de 2.500 mm al año como promedio.

El suelo es arrastrado por la escorrentía, produce erosión.

En zonas colinadas o pendientes, el problema de la erosión es mayor.

Los acuíferos y corrientes cercanos a la zona deforestada pueden afectarse por la erosión, sedimentación y patrones de flujo alterados.

La construcción de carreteras, plataformas petroleras, la instalación de campamentos, el tendido del oleoducto y otras actividades propias de la industria petrolera, alteran microcauces, cauces y lechos hídricos, incremento de partículas en suspensión y el incremento de la erosión y sedimentación, afectación de humedales temporales y permanentes, debido al alto movimiento de tierras y a la formación de taludes muy profundos, lo que agravan el problema de la erosión.

Efecto de borde

Cuando un área es talada, se impacta un área mucho mayor por el llamado "efectos de borde" – causado por la luz, viento, el potencial de agua y la composición de las especies – a lo largo del lindero del bosque (Lovejoy, 1986; Kapos, *et al*, 1997).

Cerca del borde las especies típicas de una comunidad clímax, son desplazadas por especies pioneras. El efecto de borde afecta además la eco-fisiología de las plantas, por ejemplo su tolerancia a las variaciones de temperatura y humedad así como a su potencial hídrico (Kapos, Wandelli, Camargo y Ganade, 1997).

En los fragmentos de bosques tropicales amazónicos se han documentado cambios en el microclima hasta 100 metros del borde, como también penetración de mariposas diurnas dentro del bosque hasta 300 metros a partir del lindero.

Cuando se tumba un bosque primario tropical, un grupo limitado de especies de vegetales las colonizan rápidamente, produciéndose una homogenización de la región, aunque esta sea extraordinariamente diversa.

Puesto que el efecto de borde produce también cambios en el micro clima, que está fuertemente determinado por las comunidades vegetales presentes, este fenómeno también afecta a las comunidades microbiológicas (Stephen, Turton y Freiburge, 1997). Los efectos microclimáticos debido al borde fueron registrados hasta 30 metros dentro del bosque, a partir de la zona deforestada. Estas investigaciones encontraron que la distancia desde el borde no es el único elemento importante, y que la calidad del borde también influye. Es decir, no es lo mismo que el borde sea producido por simple deforestación, que por la presencia de una estación petrolera que incrementa la temperatura del lugar.

El efecto de borde afecta también a los microorganismos de la filosfera los que están más expuestos a las variaciones térmicas, a las fluctuaciones de humedad y del potencia hídrico en el borde, que bajo la sombra.

En estudios hecho con invertebrados del suelo, se ha encontrado que las poblaciones de Coleópteros se afectan por el efecto de borde entre 100 y 210 metros en bosques que han sido perturbados (Didhám, 1997).

Fragmentación de Poblaciones

La deforestación también actúan como barreras para muchas especies, fragmentando sus poblaciones. Una población que vive en un hábitat original se ve reducido a un tamaño total más pequeño, esto quiere decir que son divididos en poblaciones múltiples.

Por ejemplo, muchos mamíferos tropicales no atraviesan por zonas que han sido deforestadas o donde ha y una vía (Goosem, 1997). Esto puede crear poblaciones aisladas que son propensas a extinciones locales y pérdida de variabilidad genética y deriva génica, especialmente cuando se trata de poblaciones pequeñas.

Los desbroces afectan especialmente a mamíferos pequeños, hormigas barredoras y aves que requieren de un dosel para dispersarse.

Finalmente, el desequilibrio ecológico en las zonas boscosas afectan a los cuerpos de agua y viceversa, pues se ha visto que existe un *continium* entre estos dos tipos de ecosistemas (Victoria *et al*, 2004, Sedell *et al*, 1989).

En la operación petrolera de Petrobrás del campo Urucú en la Amazonía Brasileña, se han registrado los siguientes impactos (Gawora, 2002):

- ❖ Se ha registrado una disminución en la pesca. De una producción promedio de 20.000 Ton de pesca, en zonas impactadas ha disminuido a 5.000 Ton.
- ❖ Se afectó a zonas extractivistas de castaña de Pará. A lo largo del trayecto el ducto Petrobrás tumbó varios árboles en fincas de comunidades extractivistas.
- ❖ Hubo afectación a las poblaciones de tortugas. Los trabajadores de Petrobrás recolectaban sus huevos. Los ribereños les prohibieron, pero ellos siguieron recolectando ilegalmente.
- ❖ La bulla hizo que los animales de caza desaparezcan, disminuyendo los

volúmenes de caza. Además, con la construcción de la carretera, entraron extraños y aumentó la caza ilegal en la zona. Miles de árboles fueron derrumbado para la construcción de la carretera.

IMPACTOS EN CUERPOS DE AGUA TROPICALES

La actividad petrolera genera riesgos que no están limitadas al área inmediata de la operación petrolera, pues una vez que la contaminación llega a los cuerpos de agua, esta fluye, ampliando su área de influencia. Los bosques tropicales se caracterizan por tener un complejo sistema de reciclaje del agua, de hecho son reservas de agua dulce.

El agua superficial está constituida por áreas saturadas (ríos y lagos) o por acuífero que son cuerpos de agua subterránea. La actividad petrolera impacta a los acuíferos y cuerpos de agua superficial a dos niveles: por contaminación por los desechos que genera, y por la interrupción de los cuerpos de agua (Science Application Internacional Corporation, 1991).

Durante la perforación, por ejemplo ocurre una interrupción directa de acuíferos. Cuando los pozos están en funcionamiento, estos pueden colapsar, dañando acuíferos. La construcción de carreteras, vías de acceso, y la apertura de las trochas sísmicas, pueden también interrumpir cuerpos de agua superficiales o alterar los patrones de drenaje. En la Amazonía Ecuatoriana se ha calculado que por cada kilómetro de carretera se interrumpen al menos tres esteros.

El agua aledaña a una operación petrolera recibe distintos tipos de contaminantes: los ríos de perforación, los lodos de perforación, las aguas de formación, lluvias ácidas contaminadas por la quema de gas. El agua también se contamina cuando hay derrames petroleros.

La contaminación petrolera puede producir impactos severos en los hábitat dulceacuícolas, especialmente en las zonas de baja energía, donde el agua tiene poco movimiento, lo que hace que el crudo (u otros contaminantes ya descritos anteriormente) permanezcan por mayor tiempo en el ambiente, lo que significa que plantas y animales permanecen en contacto con los contaminantes por mayor tiempo. En esos caso, el crudo es recolectado en restos vegetales, en hierbas y otra vegetación creciendo en los bancos de los ríos. El crudo también interactúa con los sedimentos, causando graves impactos en los organismos bentónicos.

En derrames ocurridos en la Reserva Faunística Cuyabeno, el crudo ha ocasionado graves impactos en la vegetación arbórea que se encuentra en el centro de las lagunas.

Como consecuencia de la contaminación petrolera, se ha encontrado alteración del fitoplancton por las descargas de las aguas de formación, aguas grises cloradas y negras y por efecto de los derrames petroleros. Se ha dado además un proceso de eutrofización de los cuerpos lénticos por el incremento en la concentración de micro-nutrientes proveniente de la adición de la materia orgánica y descargas de

aguas residuales sin tratamiento (Reyes y Ajamil, 2005a).

Un estudio hecho por Wernersson (2004) sobre los impactos de la explotación petrolera en ambientes acuáticos en la amazonía ecuatoriana, determinó que los principales impactos de la actividad petrolera ocurre en los ambientes acuáticos. Ella señala que a más de los grandes derrames, hay fuentes menores pero continuas de contaminación.

Ella encontró contenidos totales de petróleo en sedimentos en un rango que varió entre 4.9 a 6980 mg kg⁻¹ de materia seca.

La inmovilidad y letalidad para el crustáceo acuático componente del zooplanton de agua dulce *Daphnia magna* fue de un rango de 0 to 100% y de 0 al 40% para *Hyalella azteca*.

Las concentraciones más altas de hidrocarburos fueron registrados en una fuente usada como agua para consumo humano que se encontraba a 100 metros de una piscina de lodos de perforación y de un río cercano a una carretera que había sido "asfaltada" con crudo. Las muestras de agua fueron tóxicas para las dos especies evaluadas.

IMPACTOS EN SUELOS TROPICALES

Hasta el momento, se han hecho pocos estudios sobre los efectos de la contaminación del petróleo crudo en suelos tropicales. Al mismo tiempo, la presencia de metales pesados (presentes en altas concentraciones en el suelo como producto de las prácticas operacionales de la industria petrolera), puede incrementar la tolerancia a estos contaminantes en algunos organismos en suelos más ácidos (Erickson et al, 1996).

Algunos organismos pueden ser más susceptible a ciertos contaminantes²³ en presencia de irradiación, que es muy alta en la Amazonía Ecuatoriana. La fotosensibilidad ocurre dentro del organismo, previa una acumulación del contaminante, antes de que esté expuesto a la radiación ultravioleta (Holtst y Giesy, 1989).

Los impactos típicos generados por la industria petrolera en el suelo incluyen, la compactación del suelo, daño o destrucción de la rizósfera y suelo superficial, erosión y pérdida de suelo, debido a la pérdida de vegetación, contaminación con compuesto inorgánicos (sulfatos y sales) y orgánicos (especialmente hidrocarburos).

Las principales causas de compactación del suelo están relacionadas con la construcción de carreteras, vías de acceso, apertura de áreas para tender los oleoductos y líneas de flujo, así como de otra infraestructura petrolera.

²³ Hidrocarburiógenos y otros como metales pesados.

Las carreteras pueden generar erosión del suelo si no son diseñadas adecuadamente. Lo mismo puede suceder con otra infraestructura petrolera.

La contaminación en el suelo proveniente de las piscinas de desechos, de goteos o derrames petroleros, o por la disposición de las aguas de formación petróleo y sus compuestos asociados hace que los compuestos solventes se filtren, y los sólidos y grasas permanezcan en la superficie o sean llevados hacia tierras más bajas.

Las comunidades de micro-organismos del suelo son alteradas por la contaminación petrolera, seleccionándose las poblaciones resistentes a los contaminantes, y desapareciendo o disminuyendo las especies menos resistentes. Dada la alta tasa de mutaciones que poseen los micro-organismos en general, los contaminantes derivados de la actividad petrolera, pueden incrementar esta tasa, produciéndose mutaciones que pueden ser muy nocivas para el equilibrio del ecosistema del suelo.

Los microorganismos contribuyen en la descomposición de materia orgánica muerta y en el ciclo de nutrientes, cerrando las cadenas tróficas. Si algún factor externo altera las poblaciones microbianas, habrá una alteración en el ecosistema en general.

La contaminación petrolera en el suelo puede producir además el sofocamiento de las raíces, restando el vigor a la vegetación, y en muchos casos, matándola y la desaparición o disminución de poblaciones de micro-fauna del suelo.

Cuando los contaminantes llegan a zonas cultivadas, se registran pérdidas en las cosechas, pues muchos cultivos mueren en 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.

Finalmente, la actividad petrolera en su conjunto produce una pérdida de fertilidad en el suelo, lo que impacta negativamente en las poblaciones humanas asentadas en la zona de influencia, y en la biodiversidad en general.

Toda la transformación del espacio donde se desarrolla la industria petrolera genera compactación y erosión del suelo, sedimentación, destrucción de los organismos vivos que juegan un papel muy importante en el ciclo de nutrientes, contaminación con compuesto inorgánicos (sulfatos y sales) y orgánicos (especialmente hidrocarburos).

Estos impactos repercuten en los sistemas agrícolas de las poblaciones locales, así como en el equilibrio ecológico de los ecosistemas naturales. Un ejemplo son los suelos muy planos y poco permeables de la región petrolera de Tabasco, México, suelos de primera calidad para la agricultura, que pueden transformarse en áreas pantanosas. Cuando los contaminantes llegan a zonas cultivadas se registran pérdidas en las cosechas y en la fertilidad del suelo. En otros casos la productividad del cultivo baja, lo que tiene serias consecuencias en la economía local.

IMPORTANCIA DE LA BIODIVERSIDAD DE LA AMAZONIA ECUATORIANA

La Amazonía Ecuatoriana está constituida casi totalmente por bosques húmedos tropicales, y comprende un área de 138.000 Km² lo que significa el 48% del territorio nacional. De estas, 11.092 miles de Hectáreas son bosques naturales.

El bosque húmedo tropical amazónico tiene precipitaciones entre 2.000 a 4.000 mm de lluvia al año y temperaturas estables entre 25-26° C, lo que determina la inexistencia de estaciones secas.

La región amazónica ecuatoriana es un centro evolutivo, que sigue formando diversidad biológica con un alto índice de endemismo²⁴. En la Amazonía Ecuatoriana se da una de las mayores concentraciones de especies por unidad de área de las cuenca amazónica. La alta tasa de especialización en la Amazonía ecuatoriana se debe a:

- ❖ La regularidad climática
- ❖ Altas y uniformes temperaturas durante todo el año.
- ❖ Alta precipitación
- ❖ La presencia de los Andes, lo que hace que la región tenga tantos elementos andinos como por la baja Amazonía
- ❖ la variación altitudinal producida por la Cordillera de los Andes, que permite la formación de varias formaciones naturales
- ❖ Los cambios geológicos producidos en la región, incluyendo la formación del istmo de Panamá y los refugios geológicos del Pleistoceno

Según Sierra (1999), en la Amazonía Ecuatoriana se han identificado los siguientes tipos de vegetación:

- ❖ Bosque siempre verdes de tierras bajas
- ❖ Bosque siempre verdes de tierras bajas inundable por aguas blancas
- ❖ Bosque siempre verdes de tierras bajas inundable por aguas negras
- ❖ Bosques inundable de palams de tierras bajas
- ❖ Herbazal lacustre de tierras bajas
- ❖ Bosques siempreverdes piemontano
- ❖ Bosques siempreverdes montano bajo
- ❖ Matorral húmedo montano bajo
- ❖ Bosques siempreverde de tierras bajas

Por otro lado, según (Haffer y Prance, 2001) gran parte de la amazonía ecuatoriana central estuvo ocupada por uno de los llamados "refugios del pleistoceno". Según estos autores, durante los cambios climáticos drásticos que tuvieron lugar en el período cuaternario hubo una alteración de climas secos y húmedos, en los que las selvas amazónicas crecían o se encogían.

En los períodos secos, se formaron islas de vegetación que sirvieron de refugio de

²⁴ Especies con una distribución geográfica restringida

especies de flora y fauna, y que constituyeron centros de especialización²⁵. Cuando estas islas de vegetación se unieron con otras y repoblaron la cuenca amazónica, los lugares que sirvieron como refugios biológicos son hasta hoy zonas de alto endemismo y muchas de las especies existentes ahí, son reproductivamente aisladas, es decir que han desarrollado barreras biológicas o ecológicas para reproducirse con otros organismos de la misma especie. Una de estas islas estuvo ubicada en la Amazonía Ecuatoriana y es conocida como "Refugio Napo".

En la Amazonía Ecuatoriana se han establecido algunos récord mundiales en términos de diversidad biológica. Por ejemplo, en una parcela de una hectárea en la zona del Cuyabeno se ha registrado el récord mundial en número de especies de plantas con flores: 400 especies de árboles, 449 de arbustos, 92 de lianas, 175 de epífitas, 96 de hierbas y 22 especies de palmas (Valencia *et al*, 1997).

Por otro lado, el Parque Nacional Yasuní es considerada como la más diversa del mundo. Se han descrito 1.762 especies de árboles y arbustos, 366 no han sido clasificadas aun por la ciencia occidental. El sur del parque (Zona Intangible) no ha sido estudiada, pero se han recolectado otras 116 en zonas aledañas, por lo que el número de árboles y arbustos podría ser de 2.244 especies.

En un censo de 50 Ha. se encontró 1104 especies de árboles y arbustos, un récord mundial después del Parque Nacional Lambir Hills en Malasia, donde se encontró 1182 especies en 52 Ha. (Scientists Concerned for Yasuní National Park, 2004).

Sólo dentro de una hectárea del Yasuní se han registrado 644 especies de árboles²⁶, y el récord mundial de epífitas para tierras bajas, con un 10% de endemismo para la región del Alto Napo (Scientists Concerned for Yasuní National Park, 2004).

En el Yasuní se han registrado: 567 especies de aves²⁷, 173 especies de mamíferos²⁸, 79 especies de murciélagos, 10 especies de primates²⁹, 105 especies de anfibios y 83 especies de reptiles³⁰ y 382 especies de peces de agua dulce. Estos valores son notables considerando que los 9.820 kilómetros cuadrados del parque son una miniatura frente a los 6.683.926 kilómetros cuadrados que tiene la cuenca amazónica (Scientists Concerned for Yasuní National Park, 2004).

Cabe recalcar que Santa Cecilia en la provincia de Sucumbios tenía el record anterior con 177 especies de herpetofauna. Ese hábitat fue destruido por la construcción de la carretera y oleoducto para servir a la empresa petrolera Texaco.

Pero la importancia biológica de la Amazonía no solo radica en el número de especies presentes, sino en la complejidad de las formas de vida, de sus

²⁵ Centro de formación de nuevas especies.

²⁶ En América del Norte se han estimado 680 especies de árboles y arbustos

²⁷ Récord mundial

²⁸ 40% de todas las especies de mamíferos de la cuenca amazónica

²⁹ Transformándolo en uno de los lugares más diversos para primates en el mundo

³⁰ El más alto registro de herpetofauna en toda Sudamérica

interrelaciones y los mecanismos que han desarrollado para sobrevivir.

En un solo árbol existe todo un microsistema: los insectos que polinizan las flores o aquellos que desfolian las hojas, los hongos que atacan a los insectos desfoliadores, los microorganismos que viven en la superficie de las hojas, las levaduras que utilizan el néctar de las flores, las hormigas que succionan el néctar extra-foliar para impedir la entrada de organismos herbáceos, los descomponedores de los troncos, ramas, hojas, hojarascas, las micorrizas de las raíces, la microflora de la rizósfera, del filoplano, las aves que anidan y se alimentan de los frutos, los mamíferos que consumen las semillas, etc.

IMPACTOS A LA BIODIVERSIDAD DEL BOSQUE

Todas las otras fases petroleras requieren la construcción de infraestructura como plataformas de perforación, campamentos, pozos, así como la apertura de carreteras de acceso, helipuertos, oleoducto y líneas secundarias, lo que genera deforestación por dos causas: primero porque se clarea el bosque para instalarlas, y segundo para su construcción misma.

En una licencia ambiental otorgada por el Ministerio del Ambiente del Ecuador a la empresa Petrobrás para operar en el Bloque 31, pueda talar 21.577,47 metros cúbicos de madera procedente de 89,50 hectáreas sólo para el trazado de vía de acceso y otra infraestructura petrolera (Ministerio del Ambiente, 2005).

La construcción de carreteras y oleoductos produce deforestación directa, por que se clarea el bosque, pero también porque la mayoría de carreteras son empalizadas con madera de la zona, extraída de árboles que pueden constituir especies endémicas, en peligro o que tengan una frecuencia de distribución muy baja.

BOSQUES DE ESTRIBACIONES

Los bosques tropicales montanos y las estribaciones de las montañas son el origen del sistema fluvial tropical. Son generalmente zonas de alta biodiversidad, debido a la existencia de diversos pisos altitudinales. En el caso de la cuenca Amazónica, las estribaciones andinas son una de las zonas con mayor precipitación en el mundo y de mayor biodiversidad (Valencia, 1993). La deforestación, que acompaña a toda explotación petrolera, provoca como consecuencia la disminución de los niveles de precipitación y de los caudales de los ríos.

Por tratarse de zonas con fuertes pendientes el desarrollo petrolero en estas áreas provoca además una fuerte erosión y sedimentación de los ríos. Por otro lado, el agua baja contaminada hacia los grandes ríos agua abajo. También hay explotación petrolera en las estribaciones Andinas y en las sierras que forman la cuenca del Orinoco.

Además de los espacios estrictamente deforestados durante la actividad petrolera,

hay un efecto de borde que hace que la extensión alterada sea mucho mayor. Debido al efecto de borde, se produce la intromisión de las especies que habitan los bordes de los ecosistemas boscosos, con requerimiento de luz, temperatura, disecación característicos hacia el interior del bosque, cambiando la dinámica de las comunidades en el interior.

Esto provoca serios impactos en los animales de la selva, sobre todo animales mayores y aves que huyen del lugar, afectando la seguridad alimentaria de los indígenas que viven de la caza.

Durante la prospección sísmica se producen ruidos de gran magnitud producidos por detonaciones de dinamita que se hacen cada 6 metros, así como el ruido producido por los helicópteros que suplen de materiales y alimentación a los trabajos sísmicos. Este ruido hace que los animales escapen o cambien su comportamiento.

En los lugares intervenidos de la Amazonía Ecuatoriana, se ha visto por ejemplo que hay una reducción en el número de especies grandes de primates, y un incremento de la densidad de especies pequeñas, pues estos últimos ya no tienen que competir en desventaja por los recursos alimenticios y además su áreas de reproducción y alimentación es menor. Las poblaciones de aves son especialmente impactadas.

Otro impacto en la fauna local es la cacería, que es practicada por los trabajadores petroleros, especialmente por aquellos que trabajan para empresas sub-contratistas. Por ejemplo, durante los estudios sísmicos trabajan alrededor de 30 personas, entre los que se incluye generalmente un cazador-pescador. Durante la perforación trabajan en un área muy pequeña alrededor de 70 personas que, aunque son alimentados por la empresa, siempre complementan su alimentación con la cacería de fauna local.

Finalmente, la construcción de la infraestructura petrolera interrumpe importantes corredores biológicos, como son zonas de anidación, de cacería, saladeros y de reproducción de especies, especialmente grandes.

BOSQUES INUNDABLES

Los efectos de la contaminación petrolera por derrames de crudo y por la eliminación inadecuada de desechos y de aguas de formación, se sienten con más fuerza en los bosques inundados.

Estas zonas en las que el agua no fluye y los contaminantes tienden a estacionarse provocando la contaminación de los sedimentos y estableciendo focos de contaminación a largo plazo.

Por otra parte en la construcción de facilidades en estas zonas normalmente se utiliza más madera, puesto que es necesario estabilizar los suelos, por lo que la deforestación es mayor.

Pero los efectos de la contaminación petrolera por derrames de crudo y por la eliminación inadecuada de desechos y de aguas de formación se sienten con más fuerza en los bosques estacionalmente inundables, que son ecosistemas muy frágiles. En este tipo de bosques, en la construcción de infraestructura petrolera se utiliza más madera puesto que es necesario estabilizar los suelos, por lo que la deforestación es mayor. En estos ecosistemas existen además formaciones pantanosas, pozas y lechos de ríos y bosques de moretales.

Por ejemplo, para la construcción de una plataforma de perforación en ecosistemas inundados o temporalmente inundable, en la Reserva Faunística Cuyabeno, se utilizaron alrededor de 4000 tablones, que fueron extraídos de los bosques aledaños. El área impactada varía de acuerdo al tipo de bosque, pero se calcula que de un árbol tropical maduro se pueden extraer alrededor de entre 30 y 40 tablones, lo que significa que se estaría afectando a unas 100 Ha, solo en la construcción de una plataforma.

Los bosques inundados por aguas blancas o várzea poseen gran cantidad de sedimentos suspendidos, con árboles de 25 a 30 metros que permanecen bajo el agua por varios días cuando las lluvias son fuertes. Los bosques inundados por aguas negras, o igapó, contienen pocos sedimentos suspendidos. En estos bosques los troncos de los árboles permanecen sumergidos hasta 2 o 3 metros varios meses en el año. Cuando las lluvias escasean, las lagunas pierden la mayoría de su agua.

Si se instala infraestructura petrolera en estos bosques, con la producción de desechos contaminantes descritos anteriormente, ya sea por accidentes o por prácticas rutinarias, estos serán retenidos en los sedimentos, en los residuos orgánicos y en las porciones de vegetación que permanecen inundadas, en algunas ocasiones durante varios meses al año, convirtiéndose en fuentes constantes de recontaminación. Cuando la lluvia es muy fuerte y el agua fluye, la contaminación es exportada a los ecosistemas aledaños.

Las partes de la vegetación que está en contacto con crudo pueden sofocarse porque el crudo tapa los estomas por los que hace intercambio de gases, y por lo tanto, se interrumpe también el proceso de fotosíntesis.

En la Reserva de la Biosfera Maya en la Parque Nacional “Laguna del Tigre”, en la región del Petén en Guatemala hay actividad petrolera en bosques inundados. Esta zona lacustre es hábitat de aves migratorias y tiene gran importancia ecológica. Hasta el momento se han perforado 32 pozos en la Laguna del Tigre y construido 120 kilómetros de oleoductos. Toda la vida silvestre se ha visto muy afectada (Colectivo Madre Selva, comunicación personal).

TOXICIDAD DEL PETROLEO EN ORGANISMOS MARINOS TROPICALES

En los trópicos, hay actividades petroleras en el mar en todos los continentes, y sus impactos afectan muchos ecosistemas, con un grave peso social, pues ocasionan pérdidas importantes en las pesquerías locales, de las que depende la sobrevivencia

de muchas poblaciones en los trópicos (UNEP, 1997).

La contaminación por petróleo causa efectos sutiles en la vida marina, pues los componentes aromáticos disueltos en el agua alteran, inclusive en concentraciones de algunas partes por mil de millones (ppb) los mecanismos de quimiorrecepción de algunos organismos marinos. La quimiorrecepción es indispensable en la búsqueda de alimentos y en la reproducción. La interrupción de estos procesos puede acabar con las poblaciones del área contaminada, aunque el nivel de contaminación sea mucho menor que el nivel letal definido en la forma convencional (Atlas y Bartha, 2002).

Los impactos ambientales se originan tanto en las prácticas rutinarias de la operación como debido a accidentes. Keller y Jackson (1993) hicieron un estudio de los impactos a largo plazo de un derrame ocurrido en la Bahía La Minas en Panamá

Ellos encontraron que los impactos más inmediatos ocurren en la biota sésil. La mortalidad de plantas e invertebrados sésiles es mayor en sitios donde se acumula el petróleo. Las macro-algas carnosas y algas coralinas crustáceas se regeneran en un año, pero otros organismos sésiles como corales pétreos y erizos de mar, no se regeneran completamente hasta después de 4 años. Otros organismos son tolerantes a la contaminación, como los gastrópodos.

Otros ecosistemas fuertemente impactados son los arrecifes de coral (Steger y Caldwell, 1993), ecosistemas marinos tropicales, resistentes a la erosión y tormentas; importantes estabilizadores de las líneas de costa, especialmente en áreas tropicales bajas. Son áreas muy importantes para sustentar las pesquerías con un valor cultural y económico importante.

El petróleo produce alteraciones en la composición de las especies y en el hábitat. Los corales ramificados pueden sufrir impactos mucho mayores que otras especies. Estos incorporan petróleo en sus tejidos, produciéndose una correlación entre la masa corporal y la mortalidad.

En los componentes vegetales del arrecife, hay una reducción temporal en la tasa de fotosíntesis. Esto puede ser crónico en arrecifes expuestos a altos niveles de contaminación.

Hay una reducción en el éxito reproductivo debido a un mal desarrollo del tejido reproductivo y se atrofian de las células reproductoras. Su efecto puede durar algunos años después del contacto con el crudo, reduciendo la tasa de reproducción y por lo tanto la densidad de la población.

Se requiere décadas para que un arrecife se recupere de las condiciones que tenía antes del derrame.

Otro ecosistema impactado son los bosques de manglar (Bassey, 1996). Las actividades petroleras en el manglar producen la interrupción del flujo de agua dulce y del mar hacia los manglares y dentro de ellos, lo que altera el patrón del

drenaje, la vegetación, el suelo y produce la inestabilidad general del área (E&P Forum, 1993).

La perforación se hace por dragado, destruyendo totalmente el área. El dragado implica hacer más profundo y más ancho los canales existentes, o el abrir nuevos canales. El tamaño y la profundidad del canal viene determinado por el tamaño de la gabarra de perforación. Entre más ancho y profundo sea el canal, mayor será el daño.

Se produce erosión a gran escala, muerte de la vegetación de los bosques arenosos, interrupción de hasta 6 años del derrame en el crecimiento de las plántulas, sofocación e intoxicación de las raíces zacundas, disminución de las raíces absorbentes. Los árboles maduros que sobreviven, sufren deterioro del dosel más alto, produciendo menor cantidad de biomasa foliar y reducción del número de hojas y yemas (E&P Forum, 1993).

La recuperación del manglar puede tardar varias décadas, si no ocurren nuevos derrames. No se conoce ninguna manera de limpiar la contaminación del sedimento sin destruir el bosque.

Burns y Codi (2004), encontraron que en un derrame localizado en manglares de Australia se tardó un año y medio en limpiar los hidrocarburos hasta tener concentraciones de crudo a niveles sub-tóxicos en la zona intertidal del manglar, pero el crudo quedó en los sedimentos por lo menos dos años después del derrame.

El petróleo en ecosistemas costeros tropicales impacta gravemente a las especies que anidan en la arena. Los huevos absorben la humedad del ambiente que les rodea, por lo que pueden absorber los hidrocarburos presentes (IPIECA, 2000b).

Si hay contaminación petrolera en zonas de anidación de tortugas, el impacto puede ser catastrófico para su reproducción (Fritts y McGehee, 1981). Embriones de tortugas expuestas a petróleo en estadios más tardíos son muy sensitivos a los efectos tóxicos del petróleo. La contaminación petrolera retarda la eclosión de los polluelos y produce anomalías en el carapacho de las tortugas, especialmente cuando la exposición ocurre en los estadios tempranos, que es cuando éste se forma.

Un derrame en la estación lluviosa causará un daño inmediato más grande en hábitat intertidales bajos.

La acción de las olas mezclará el petróleo en la columna de agua, extendiéndose la contaminación.

Las aves marinas son probablemente el único grupo de vertebrados que no pueden evitar la contaminación del petróleo porque éstas dependen de peces para su alimentación. Esto es también verdad para los mamíferos marinos y tortugas de mar. Almeida (1983) notó que las aves afectadas perdieron su capacidad de volar o

flotar. A un nivel subcrónico ellas mostraron degeneración del hígado, hiperplasia supracorticoidea, y neumonía.

De una muestra de 60 individuos del fulmar sureño (*Fulmarus glacialisoides*) que se encontraron muertos en el sur de Brasil en agosto de 1987, solo el 8% tenían petróleo en sus plumas, mientras que de 51 individuos de monje pico tijera (*Puffinus puffinus*) se encontraron muertos entre 1979 y 1989, el 14% estaban contaminados de petróleo (Vooren y Fernández, 1989).

El petróleo también puede entrar a las membranas de la comida y afectar a las aves. Por ejemplo, el nudo rojo (*Calidris canutus*) usa las playas del sur de Brasil entre marzo y mayo, cuando regresa de la Patagonia, hacia el Ártico. En las grandes playas arenosas estas especies se alimentan vorazmente de pequeños moluscos bivalvos y crustáceos que permiten mudar las plumas y la acumulación de recursos de energía para poder volar los 9.000 km. a la bahía de Delaware (Harrington, 1983). La contaminación de la playa con petróleo, que ha ocurrido frecuentemente, puede poner en peligro la estrategia de reproducción de estas aves porque sus huevos son muy vulnerables al petróleo y el hidrocarburo se acumula en los tejidos de grasa. La contaminación al liberar este hidrocarburo tóxico podría ser fatal para la supervivencia de las especies.

Los resultados de seis estaciones alrededor de la Bahía de Todos los Santos (Estado de Bahía) para exámenes de ecotoxicidad del sedimento utilizando ostra de manglar y larvas de erizos marinos, nauplii de *Artemia* sp, y postlarvas del camarón *Pennaeus vannamei* indicaron que el sitio más tóxico (comparado con dos sitios de referencia) era la que estaba más cercana a la refinería. La toxicidad en los sitios más lejanos bajo corriente era también diferente de aquellos de cerca de la refinería, aunque estadísticamente hubieron algunas con diferencias significativas con los dos sitios de referencia (Nascimento, 1995).

Coimbra (1994) trabajando en tres de estos mismos sitios, en el Norte de la Bahía de Todos os Santos, concluyó que en el sitio más cerca de la refinería no hubo representatividad de la comunidad fitobentónica, con la presencia de solamente dos especies con muy bajos valores de biomasa, en comparación con los otros dos sitios. Los resultados demuestran claramente la influencia de los efluentes petroleros no tratados de la refinería sobre las comunidades biológicas vecinas.

Gundlach *et al* (1993) también encontró una disminución en la biomasa de los epífitas (*Bostrychia*) después de un derrame de petróleo en Puerto Rico a fines de 1970, demostrando la influencia del petróleo en el desarrollo del *Bostrychietum*.

4. IMPACTOS EN GRUPOS TAXONOMICOS ESPECIFICOS

MICRO-ORGANISMOS

El petróleo tiene un impacto doble en las comunidades microbianas. Por una parte altera su composición, produciendo una alta mortalidad de poblaciones susceptibles, y por otra, las poblaciones sobrevivientes degradan en mayor o menor grado ciertos componentes del petróleo.

En condiciones de laboratorio se ha logrado demostrar que varias bacterias marinas, bajo condiciones óptimas, pueden remover ciertas fracciones de petróleo, especialmente n-alcanos. Sin embargo, las condiciones naturales son raramente favorables a la degradación microbiana del crudo. Para que ocurra degradación de hidrocarburos, se requiere un rango amplio de microorganismos. En programas de biodegradación se añade Nitrógeno y Fósforo para favorecer la proliferación y reproducción de los microorganismos (Environmental Protection Agency, b).

Sin embargo, se han hecho pocos estudios sobre los impactos del petróleo en comunidades microbianas.

Luego de un derrame petrolero, se da una profunda transformación de las comunidades microbiológicas expuestas a hidrocarburos, pues se seleccionan aquellas especies con capacidad de degradar hidrocarburos y desaparecen las especies vulnerables a la contaminación. Las poblaciones degradadoras de hidrocarburos se multiplican y sufren cambios genéticos. Aumenta el número de plásmidos con genes que intervienen en el catabolismo de hidrocarburos (Leahy y Colwell, 1990).

En una evaluación de los impactos de derrames de petróleo y la bioacumulación en comunidades bacterianas del suelo ácidos Cambisode en la Mata Atlántica, Evans, *et al* (2004), se hizo un conteo de las comunidades bacterianas, especialmente de las que degradan petróleo. Encontraron que la bioestimulación incrementa el pH del suelo (a 7,0) y los niveles de K, Ca y Mg. La contaminación petrolera causa un incremento del carbón orgánico en el suelo (170 – 190% más alto que en suelos control). El conteo total de bacterias fue estable a lo largo del experimento.

El estudio mostró que suelos contaminados por petróleo tiene un impacto muy grande en las comunidades bacterianas. El impacto fue mayor cuando se añadió compuestos inorgánicos.

OTROS INVERTEBRADOS

El petróleo o sus derivados, pueden ser tóxicos a otros invertebrados, algunos de ellos de importancia económica para las economías locales. Investigadores del Centro Austral de Investigaciones Científicas, en Tierra del Fuego, Argentina (Amin y Comoglio, 2002), evaluaron la toxicidad del petróleo diesel en dos especies de

cangrejos que constituyen una pesquería mixta de gran actividad económica en Tierra del Fuego.

Ellos eligieron estudiar el impacto del petróleo diesel en larvas, porque los estadios larvales son, en general, los más sensibles a cambios ambientales.

Ellos evaluaron en *Lithodes santolla* (centolla)³¹. y *Paralomis granulosa* (centollón)³² la toxicidad aguda (CL50-96 h) de la fracción soluble del mismo en el estadio zoea I de ambas especies y sobre la ecdisis (zoea I-II) en *L. santolla* evaluando el porcentaje de mudas exitosas y analizando el tiempo de vida medio del estadio zoea I registrado en cada tratamiento.

Los resultados obtenidos indican que las larvas zoea I de *L. santolla* resultaron significativamente más sensibles que las de *P. granulosa* en exposiciones agudas ($p < 0,01$), mientras que a concentraciones subletales los tratamientos afectaron significativamente la proporción de mudas obtenidas, no así el tiempo de vida medio. No se obtuvieron zoea II en la exposición a concentraciones superiores a 29% de fracción soluble.

Los investigadores señalan que la eventual presencia de hidrocarburos en el medio además de ser letal, aumenta la sensibilidad de las poblaciones al afectar procesos metabólicos y motrices que convierten a las larvas en potenciales presas vulnerables. Se observaron otros parámetros subletales como fallas en la natación, las cuales se detectaron a las 24 h de exposición a concentraciones mayores al 13% de fracción soluble.

Algunos de estos efectos pueden considerarse inespecíficos ya que no sólo han sido observados en los citados casos y en el presente trabajo, sino también en la exposición a metales pesados y a petróleo crudo en larvas de ambas especies (Amin 1995).

Weis *et al.* (1992) describen como efecto general a la exposición a hidrocarburos la disminución en el incremento por muda. Retrasos en el desarrollo larval e inhibición en el crecimiento y muda en exposiciones a hidrocarburos también han sido reportados para larvas de numerosas especies de crustáceos, asociando estas respuestas a la interferencia de este tipo de compuestos sobre las vías metabólicas normales de los ácidos grasos y a disrupciones energéticas en general (Capuzzo y Lancaster 1981).

Morton y Wu (1977) observaron una rápida pérdida en las habilidades natatorias de larvas nauplios de *Balanus amphitrite* *amphitrite* y *Balanus variegatus* *variegatus* expuestos a queroseno así como también Rice *et al.* (1981) detectan la misma respuesta en larvas de "king crab" *Paralithodes camtschatica*, *Cancer magister*, *Pandalus hypsinotus* y *Eualus suckleyi*, luego de algunos minutos de exposición a la

³¹ El desarrollo larval de la centolla comprende tres estadios zoea con una duración total aproximada de 25 días en condiciones experimentales y un estadio postlarva (Campodónico 1971).

³² El desarrollo larval de centollón consiste en dos estadios zoea que abarcan en condiciones experimentales, entre 18 y 20 días y una postlarva (Vinuesa et al. 1989).

fracción soluble de petróleo crudo.

De acuerdo a la NOAA los invertebrados marinos en general, pueden ser sofocados por la presencia de gruesas capas de crudo. Estos organismos son muy importantes en las redes tróficas, pues constituyen la fuente alimenticia de peces y aves insectívoras (Nacional Ocean and Atmospheric Administration)

Los invertebrados acuáticos son usados con frecuencia como especies indicadoras para evaluar la salud del ecosistema.

PLANTAS

Los hidrocarburos son tóxicos para las plantas. Los crudos livianos son muy tóxicos para las plantas, especialmente si llegan al área de las raíces.

Los vertidos de hidrocarburos en el suelo matan la vegetación, no solo por su toxicidad, sino además porque producen en el suelo una zona anóxica en las raíces. La carencia de oxígeno y la producción de H_2S mata las raíces de la mayoría de plantas, incluyendo las raíces de árboles bien establecidos (Bossert y Bartha, 1984).

Cuando ocurren derrames de crudo, especialmente pesado, las hojas y otras partes de la vegetación se cubren de crudo lo que les produce sofocación porque los estomas, estructuras a través de las cuales realizan el intercambio de gases, se bloquean. El impacto es mayor si el derrame ocurre durante el período de crecimiento de la planta.

Niveles altos de irradiación UV, como sucede en bosques tropicales cercanos al ecuador, afectan a la contaminación petrolera de manera positiva y negativa. Desde el punto de vista positivo, la irradiación pueden acelerar la descomposición. Sin embargo la degradación no siempre significa una reducción de la toxicidad. La toxicidad puede aumentar con mayor irradiación sobre el crudo. Esto ha sido observado en algas. También se ha observado un incremento de toxicidad con un aumento de temperatura (Gaur y Singh, 1991).

Las filtraciones de gas natural causan efectos perjudiciales similares sobre la vegetación. En este caso las condiciones anóxicas se crean por la combinación de los causas:

- a) el desplazamiento físico del aire del suelo por el gas natural. Aunque el gas metano no es tan tóxico para las plantas, estas mueren por la generación de condiciones anóxicas en el suelo (Hoeks, 1972)
- b) la actividad de *Methylomonas* y otras bacterias capaces de oxidar alcanos gaseosos.

La pérdida de vegetación afecta a animales herbívoros que usan dichas plantas como fuentes alimenticias, o a aquellos animales que cumplen alguna fase de su ciclo vital en esas plantas (por ejemplo la reproducción, la anidación, etc.).

Kyung-Hwa Baek *et al* (2005) estudiaron los efectos fitotóxicos de petróleo crudo y

los componentes del petróleo en fréjol rojo (*Phaseolus nipponesis*) y maíz (*Zea mays*).

Ellos encontraron que los suelos contaminados por petróleo (10.000 mg/kg) eran fito-tóxico para las dos especies. En contraste, no se observó una toxicidad obvia cuando el nivel de contaminación fue de 0-1000 mg/kg de hidrocarburos alifáticos tales como decano (C10) y eicosano (C20).

Se observó fototoxicidad en suelos contaminados por hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) nafataleno, fenantreno y pireno a niveles de 10-1000 mg/kg. La toxicidad aumentó con el número de anillos aromáticos. El maíz fue más susceptible a los suelos contaminados con PAH que el fréjol rojo.

AVES

No todos los derrames petroleros tienen el mismo efecto en aves, y la vida silvestre en general. El impacto dependerá de:

- ❖ El tipo de crudo derramado
- ❖ La localización del derrame
- ❖ Las especies de vida silvestre presente en el área
- ❖ el ciclo vital (especialmente reproductivo) de las especies presentes en el área del derrame
- ❖ el clima al momento del derrame.

De acuerdo al Centro Internacional de Investigación de Rescate de Aves (IBRRC), el crudo puede afectar a aves y mamíferos ya sea por contacto directo físico con el contaminante, por contaminación tóxica y por la destrucción de sus fuentes alimenticias.

Contacto físico.- cuando las plumas o la piel de los animales entran en contacto con el petróleo, hace que estos pierdan su capacidad de regulación térmica, y pueden llegar a morir de frío. Las plumas permiten también a las aves flotar, propiedad que pierden al estar embadurnadas por crudo, lo que les produce muerte por ahogamiento. De acuerdo a la Sociedad Real de Preservación de las Aves (RSPB), el 90% de aves contaminadas se ahogan.

Si la contaminación es muy grande, el ave no puede volar, lo que entre otras cosas, la convierte en presa fácil de especies depredadoras.

En algunos casos la piel del animal sufre quemaduras químicas al entrar en contacto con el crudo. En otros casos, se pueden producir incendios y el ave muere carbonizada si no ha podido huir.

Contaminación tóxica.- algunas especies son susceptibles a los efectos tóxicos que les produce inhalar hidrocarburos. Los vapores del petróleo puede causarles daño al sistema central del animal, el hígado y los pulmones, con problemas como neumonía, congestión y hemorragia pulmonar (Conservation Institute).

Los animales corren además riesgo de ingerir petróleo, lo que puede disminuir su capacidad de comer o digerir los alimentos porque el petróleo daña las células del tracto digestivo. A veces las aves ingieren crudo en un intento de limpiar sus plumas.

Algunos estudios muestran que los animales pueden tener efectos reproductivos a largo plazo cuando están expuesto a derrames petroleros, debido a una debilidad generalizada del animal, su incapacidad de poner huevos, cambios en su comportamiento reproductivo, una reducción en el número de huevos puestos, y un adelgazamiento de la cáscara del huevo.

El crudo puede producir irritación en superficies mucosas que pueden terminar en ulceraciones en los ojos (y hasta ceguera) y las partes húmedas en el interior de la boca (Australian Maritime Safety Authority).

Daños en los riñones es común en aves contaminadas por petróleo, y ocurre por un efecto tóxico directo del crudo, pero también por deshidratación, lo que puede conducirles a la muerte.

Se ha reportado además daños en el tejido adrenal, lo que interfiere con la capacidad del ave de mantener la presión sanguínea y la concentración de fluidos del cuerpo. Se ha reportado también una disminución de los glóbulos rojos (Australian Maritime Safety Authority).

Dado que el ave contaminada sufre de debilitamiento general, se compromete su sistema inmunológico, lo que la hace susceptible de infecciones bacterianas y fúngicas.

Destrucción de sus fuentes alimenticias.- aun especies que no están en contacto directo con el petróleo pueden ser dañadas por un derrame petrolero. Predadores que consumen presas contaminadas pueden ingerir crudo. Dado que el crudo da a los animales contaminados un olor y sabor desagradable, los predadores a veces rehúsan alimentarse de ellos, y pueden morir de hambre (International Tanker Owners Pollution Federation Limited).

En otros casos, las presas mismas desaparecen, dejando al predador sin ninguna fuente alimenticia.

La contaminación de las fuentes alimenticias locales puede reducir el éxito reproductivo de algunas especies, por disfunciones en sus funciones reproductivas, en su capacidad de poner los huevos, porque no pueden alimentar a la cría por falta de alimentos, etc. La contaminación de nidos, sitios de anidación, reproducción, afectan también la reproducción de varias especies expuestas a derrames petroleros.

Los derrames en el agua puede ser fatal para aves que permanecen mucho tiempo en el agua, como los patos o para los que se alimentan en el agua como garzas y grullas, o que cazan en el agua como águilas, halcones y otros. El crudo puede

cubrir al ave, o sólo contaminarla en ciertas partes, dependiendo de la magnitud del derrame y del comportamiento del ave, por ejemplo si nada o bucea en el agua (Tri-State Bird Rescue and Research Inc).

Las aves que se congregan en altas concentraciones en las playas o dentro del mar para reproducirse, alimentarse o dormir, son especialmente susceptibles a los derrames petroleros.

ORGANISMOS DE AGUA DULCE

Los cuerpos de agua dulce son altamente sensibles a los derrames petrolero y son importantes a la salud humana y la salud (Environmental Protection Agency, c). En ellos, se alimentan, reproducen y anidan muchos organismos dulceacuícolas. Todos los organismos de agua dulce son suceptibles a los derrames petroleros, incluyendo mamíferos, aves acuáticas, peces, insectos, microorganismos y la vegetación.

En algunos casos puede llegar a ser mortal.

Adicionalmente, los efectos de los derrames petroleros en microorganismos de agua dulce, así como en invertebrados y algas impactan a los niveles superiores de las redes tróficas.

Los cuerpos de agua dulce se dividen en dos tipos:

- ❖ lagos, pantanos y ciénegas
- ❖ ríos y esteros

Los efectos de los derrames petroleros en los cuerpos de agua dulce varía de acuerdo al flujo de agua y a las características específicas de los hábitats.

En aguas con poco movimiento como lagunas o pantanos los impactos de la contaminación petrolera son mucho más severos que en ríos y esteros., porque el petróleo tiende a empozarse y permanece en el ambiente por mucho tiempo. En condiciones de aguas calmas, los impactos sobre el hábitat puede durar muchos años. Las comunidades lacustres tienen distinto grado de sensibilidad de la contaminación petrolera.

El fondo de aguas calmas, que frecuentemente es lodoso constituye el hábitat para especies de lombrices, insectos y otros invertebrados. Estos organismos sirven de alimento para animales superiores. La presencia de crudo en los sedimentos puede ser muy perjudicial, porque en ellos se forman trampas de petróleo, constituyendo una fuente constante de contaminación, y afectando a toda la cadena trófica que depende de los organismos que viven en los sedimentos.

En aguas abiertas, el petróleo puede ser tóxico para anfibios, reptiles, aves acuáticas y otros animales que viven en el agua. La contaminación en la vegetación flotante o enraizada en el fondo de los cuerpos de agua, producen impactos tanto en la vegetación como en todos los organismos que dependen de esta como sitio de anidación, vivienda, reproducción y alimentación.

Los insectos que nadan en la superficie del agua o en hojas flotantes, como lirios de agua, son afectados por derrames petroleros que se esparsen a lo largo de la superficie.

La vegetación que crece en la línea de playa de los lagos y otros cuerpos de agua constituyen un habitat importante en muchas funciones ecológicas en el agua y en su alrededor. Ahí varias especies buscan resguardo, de reproducen, tienen a sus crías, etc. los derrames petroleros en esas áreas afectan a todos estos organismos.

Los ambientes pantanosos son uno de los hábitats de agua dulce más afectados por derrames petroleros, debido a que el agua casi no fluye. Los derrames petroleros impactan negativamente a todas las especies presentes y a las relaciones ecológicas que existene entre ellas.

El impacto de la contaminación petrolera en cuerpos de agua que fluye es menos severa, porque la corriente constituye un mecanismo natural de limpieza. A pesar de ello, la fragilidad de los hábitats de ríos y esteros es similar a los que fueron descritos para los lagos y pantanos, con algunas características especiales:

- ❖ Cuando ocurren derrames petroleros en ríos, el crudo con frecuencia se empoza en bancos, donde el petróleo se adhiere a la vegetación. Los animales que ingieren esa vegetación pueden ser afectados.
- ❖ Las rocas que están alrededor de los ríos o en medio de ellos sirven de habitat a varias especies de invertebrados, que juegan un rol muy importante en las cadenas alimenticias de los hábitats de agua dulce. Los derrames petroleros en esos rocas mata a dichos invertebrados, y a través de ellos, a la ecología local.

REFERENCIAS

- Acción Ecológica (2001). Estudios Ambientales del OCP. Observaciones de Acción Ecológica. Alerta Verde.
- Almeida, R.A. (1983). Museu do Mar. Jornal Cidade de Santos. Noviembre 27.
- Almeida, A (2006). Fases e impactos de la actividad petrolera. En: *Manuales de Monitoreo Ambiental Comunitario*. Acción Ecológica. Quito.
- American Petroleum Institute (1995). Proceedings: Workshop to Identify Promising Technologies for the Treatment of Produced Water Toxicity. *Health and Environmental Sciences Departmental Report No. DR351*. Parsons Engineering Science, Fairfax, Virginia.
- Amin, O. (1995). Toxicidad para invertebrados marinos de algunos metales pesados detectados en la zona costera próxima a Ushuaia, Tierra del Fuego. *Tesis Doctoral*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 141 pp.
- Amin, O. y Comoglio, L. (2002). Toxicidad del petróleo diesel en el primer estadio larval de la centolla (*Lithodes santolla*) y del centollón (*Paralomis granulosa*). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 37 (2): 139 – 144-
- Asociación de Biología Tropical y Conservación (2005). Investigadores de bosques tropicales dicen que vía para la explotación petrolera amenaza parque amazónico. Clave. Comunicado de prensa.
- Asociación de Defensa del Cuyabeno (1994). Informe de monitoreo a los campos Imuya, Paujil y Sábalo. No publicado.
- Atlas, R.M. (1981). Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: An environmental perspective. *Microbiological Reviews* 45: 180-209
- Atlas, R.M. y Bartha, R. (2002). *Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental*. Pearson Educación, S.A. Madrid.
- Australian Maritime Safety Authority. *The effects of Oil on Wildlife*. www.amsa.gov.au/marine_environment_protection/educational_resources_and_information/teachers/the_effects_of_oil_on_wildlife.asp) Visitada en abril 2007.
- Baillie, I.C. (1996). Soils of the humid tropics. In: P.W. Richards (ed.). *The Tropical Rainforest: An Ecological Study*. Segunda Edición. Pp. 256-286. Cambridge University Press. Cambridge.
- Safety
- Bakke, T. y Laake, M. (1991). Test on degradation of a new drill mud type under natural conditions. En: *Final report. Nork. Inst. for Vannforskning*. Oslo - Norway.

Bassey, N. (1996). Manglares en peligro. Los manglares en el Delta del Níger. *Tegantai No. 6*. Impactos de la explotación petrolera en los bosques de manglar. Oilwatch.

Bawa, K.S. y Hadley M. (1990). Reproductive Ecology of Tropical Forest Plants. *Man and Biosphere Series*. Volumen 7. UNESCO.

Blackman, R.A.A., Fileman, T.W., Law, R.J. (1986). The toxicity of alternative base-oil and drill-muds on the settlement and development of biota in an improved trunk test. *Internacional Council for the Exploration of the Sea*. ICES C.M.

Bossert, I. y Bartha, R. (1984). The fate of petroleum in soil ecosystems. En: R.M. Atlas (ed) *Petroleum Microbiology*. MacMillan, Nueva York, pp. 435-473.

Burns, K.A. y Codi, S. (2004). Contrasting impacts of localised versus catastrophic oil spills in mangrove sediments. *Mangroves and Salt Marshes*. Volume 2, Number 2: 63-74

Butler, J.N., Morris, B.F., Sass, J. (1973). Pelagic tar from Bermuda and the Sargasso Sea. *Bermuda Biological Station Special Publication No. 10*. Bermuda.

Campodónico I. 1971. Desarrollo larval de la centolla *Lithodes antarctica* Jaquinot en condiciones de laboratorio (Crustacea Decapoda Anomura: Lithodidae). *Anales del Instituto de la Patagonia* 2 (1-2): 181-190.

Canaday, C. y Rivadeneyra, J. (2001). Initial effects of a petroleum operation on Amazonian birds: terrestrial insectivores retreat. *Biodiversity and Conservation* 10: 567-595.

Capuzzo, J.M. y Lancaster, B.A. (1981). Physiological effects of petroleum hydrocarbons on larval lobster (*Homarus americanus*): Hydrocarbon accumulation and interference with lipid metabolism. En: Vernberg J, A Calabrese, FP Thurberg & WB Vernberg (eds). *Biological Monitoring of Marine Pollutants* 477 – 499. Academic Press, Nueva York. Carls MG &

Cerniglia, C.E. (1984). Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. En R.M. Atlas (Ed). *Petroleum Microbiology*. MacMillan, Nueva Cork pp. 99-128.

Científicos Preocupados por el Parque Nacional Yasuní (2004). Reporte Técnico sobre: La biodiversidad del Parque Nacional Yasuní. El significado de su conservación, los impactos de las vías y nuestra declaración oficial.

Coimbra, C.S. (1994). Distribuição das Comunidades de Macroalgas Bentônicas em Manguezais ao Norte da Baía de Todos os Santos - BA. Monografia de BSc. Universidad Federal de Bahía, Salvador, BA, Brasil.

Comisión de Evaluación del Impacto Ecológico de la Exploración Sísmica en el

Bloque 10. (1989). Informe de actividades.

Conservation Science Institute. Ocean Change Initiative. *Oil Pollution*.
www.conservationinstitute.org/ocean_change/ocean_pollution/oilpollution.htm

Davies, J.M. y Kingston, P.F. (1992). Sources of environmental disturbances associated with offshore oil and gas developments. En: *Noth Sea Oil and Environment, Developing Oil and Gas Resources, Environmental Impacts and Resposes*. Elsevier Applied Scinece pp. 417-440. London, NY.

Delegación Internacional (2002). *Delegación Internacional de ONGs sobre el proyecto de gas de Camisea*. Septiembre 2002. Perú.

Di Toro, D.M. McGrath, J.A., Stubblefield, W.A. (2007). Predicting the Toxicity of Neat and Weathered Crude Oil: Toxic Potencial and the Toxicity of Saturated Mixtures. *Environmenatl Toxicology and Chemistry* 26(1): 24 - 36

Didhám, R.K. 1997. La Influencia de los Efectos del Borde y de la Fragmentación de Bosques en los Invertebrados de la Hojarasca en Amazonia Central. En: *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities*. Editado por William F. Laurance y Richárd O. Bierregaard, Jr.

El Tributo (2001). Explotó una cañería del gasoducto Norandino en el departamento Orán. Editorial.

Environmental Protection Agency. Sesitivity of Birds and Mammals. Oil Program. EPA website. Visitado abril 2007.

Environmental Protection Agency (a). Sensitivity of Freshwater Habitats. Oil Program. EPA website. Visitado abril 2007.

Environmental Protection Agency (b). Effect of oil on microorganismos. www.epa.gov/oilspills/pdf/chap1. Visitado abril 2007.

Environmental Protection Agency (c). Sensitivity of Freshwater Habitats. Oil Program. EPA website. Visitado abril 2007.

Erickson, R.J. *et al.* 1996. The effects of water chemistry on the toxicity of copper to fathead minnows. *Environmental Toxico. Chem.* 15: 181-193.

Evans, I.F. Rosado, A.S. Sebastián, G.V. Casella, R. Machado, L.O.A., Holmström, C. Kjelleberg, S. Jan D. van Elsas, J.D. Seldin, L. (2004) Impact of oil contamination and biostimulation on the diversity of indigenous bacterial communities in soil microcosms. *FEMS Microbiology Ecology* 49 (2), 295–305.

E & P Forum y UICN (1993). Operaciones de Exploración y Producción de Petróleo y Gas en las Areas de Manglares: Pautas para su Protección Ambiental. *Forum E&P Informe*

No. 2.54/184.

Fahn, J. (1999). Mercurio en el Golfo de Tailandia. En: Fluye el petróleo, sangra la tierra. Ed. Oilwatch. Quito.

Fritts T.H, McGehee M.A. 1981. Effects of Petroleum on the Development and Survival of Marine Turtle Embryos. U.S. Fish & Wildlife Services.

Fritts T.H y McGehee M.A. 1981. Effects of Petroleum, in the Development and Survival of Marine Turtle Embryos. U.S. Fish & Wildlife Services.

Gamble, J.C., Davies, J.M., Hay, S.J., Dow, F.K. (1987). Mesocosm experiments on the effects of produced water from offshore oil platforms in the Northern North Sea. *Sarsia* 72(3-4): 383-387.

Gaur, J.P Singh, A.K. (1991). Regulatory influence of Light and temperatura on petroleum toxicity to *Anabaena dolium*. *Environ. Water Quality* 6: 341-350

Gawora, D. 2002. Testimonios de los participantes del V Seminario sobre el gas de Urucú. Manus – Brasil.

Gibson D.T. y Subramanian V. (1984). Microbial degradation of aromatic hydrocarbons. En D.T. Gibson (ed). *Microbial Degradation of Organic Compounds*. Plenum Press, Nueva Cork, pp. 181-252.

Goosem M. (1997). Internal fragmentation: the effects of roads, highways and powerline clearings on movements and mortality of rainforest clearings. Pp. 241-255 in W.F. Laurance and R.O. Bierregaard Jr. (Eds.). *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management and Conservation of Fragmented Communities*. University of Chicago Press: Chicago.

Goyer, R.A. (1996) Toxic effects of metals. In Casarett & Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons, Fifth Edition, Klaassen, C.D. [Ed]. McGraw-Hill Health Profesion Division.

Granier, L.K. (1997). Public reporting of chemicals used in the offshore exploration and production of oil and gas in th UK. WWF-UK.

Gundlach, E.R., J.M. Michel, G.I. Scott, M.O. Hayes, C.D. Getter y W.P. Davis. (1993). Ecological Assessment of the Peck Slip (19 Diciembre, 1978) Oil spill in Eastern Puerto Rico. Memorias: *Conferencia sobre Evaluación de Daño Ecológico*, Washington, DC, EEUU. 1979, pp. 303-318.

Haffer, J. & Prance, G. T. (2001). Climatic forcing of evolution in Amazonia during the Cenozoic: on the refuge theory of biotic differentiation. *Amazoniana* 16, 579-607.

Harper, G. (2004). *Yasuní Day Presentation*. Oct. 12, 2004. Mindo, Ecuador.

Harrington, B. (1983). The migration of the red knot. *Oceanus* 26: 44-48.

HBT Agra (1993). Typical operacional practices for the Petroleum Industry in Tropical Forest Areas. En: *Final Assessment Criteria for the Environmental Evaluation of the petroleum Consortium Oil Fields*.

Heitkamp M.A. y Cerniglia, C.E. (1988). Mineralization of polycyclic aromatic hydrocarbons by a bacterium isolated from sediments below an oil field. *Applied and Environmental Microbiology* 54: 1179-1181.

Hoeks, J. (1972). Changes in composition of soil near air leaks in natural gas mains. *Soil Sciences* 113: 46-54.

Holtst. L.L. y Giesy, J.P. (1989). Chronic effects of photoenhanced toxicity of anthracene on *Daphnia magna* reproduction. *Env. Toxicol. Chem.* 15: 547-581.

IPIECA (2000). *Biological Impacts of oil pollution: rocky shores*. IPIECA Reporte Series 7. London

IPIECA (2000a). *Biological Impacts of oil pollution: fisheries*. IPIECA Reporte Series 8. London

IPIECA (2000b). *Biological Impacts of oil pollution: sedimentary shores*. IPIECA Reporte Series 9. London

Internacional Bird Rescue Research Center. *Oil Pollution and Bird*.
www.ibrrc.org/oil_affects.html. Visitada en abril del 2007.

Internacional Tanker Owners, Pollution Federation Limited. *Effects of Marine Oil Spills*. (www.itopf.com/effects.html). Visitada en abril del 2007

Jackson, K. (1997). Policing the offshore environment. *Petroleum Review*. Vol 51 No. 603

Kapos, V., Wandelli, E., Camargo, J.L. y Ganade, G. (1997). Cambios Relacionados al Efecto del Borde en el Ambiente y en las Respuestas de Plantas, como consecuencia de la Fragmentación del Bosque en la Amazonia Central. En *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities*. Editado por William F. Laurance y Richard O. Bierregaard, Jr.

Keller, B.D. y Jackson, J.B.C. eds. (1993). Long term assessment of the oil spill at Bahia Las Minas. Panama. *Synthesis report*. OCS Study MMS 93-0048. US Department of Interior, Minerals Management Services

Kimerling, J. (1993). Crudo Amazónico. Ed. Abya Yala. Quito

Kyung-Hwa Baek, Hee-Sik Kim, Hee-Mock Oh, Byung-Dae Yoon, Jaisoo Kim, In-Sook Lee (2005). Effects of Crude Oil, Oil Components, and Bioremediation on Plant Growth. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, Volume 39, Issue 9 January 2005 , pages 2465 - 2472

Kyung S. Cheng (2001). Adaptabilidad ecofisiológica de organismos acuáticos tropicales a cambios de salinidad. *Rev. Biol. Trop* 49 (1): 9-13

Laurance, W.F. (1989). *Ecological impacts of tropical forest fragmentation on nonflying mammals and their habitats*. Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley.

Leahy J.G. y Colwell, R.R. (1990). Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbial Reviews* 54: 305-315.

Losos, E., *et al.* (2005). Carta dirigida a José Eduardo de Barros Dutra, Presidente de Petrobrás. 15 de febrero de 2005.

Lovejoy, T.E., *et al.* (1986). Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. Pages 257-285 in M.E. Soulé (Ed.). *Conservation Biology: The science of scarcity and diversity*. Sinauer Associates. Sunderland, Mass.

Mendes da Silva, E; de Barros, C (1999). Revisión de los estudios sobre la contaminación del petróleo y sus impactos en los ecosistemas acuáticos costeros en Brasil. En: *Fluye el petróleo, sangra la tierra*. Ed. Oilwatch. Quito.

Mendes Da Silva, E., Campos, M., Teixeira, M. De F., De Barros, E, Azevedo C.C. (1997) Impact of petroleum pollution on aquatic coastal ecosystems in Brazil. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16, 1 (50 ref.) pp. 112-118.

Ministerio del Ambiente (2005). *Licencia de aprovechamiento forestal especial No. 001-05*. Oficina Técnica del Coca. 22 de marzo del 2005.

Morton, B. y Wu, R.S.S. (1977) The toxic effects of hydrocarbons upon the naupliar and adult stages of *Balanus* (Crustacea: Cirripedia). *Marine Pollution Bulletin* 8: 232-236.

Nascimento, I. A. (1995). Programa de Monitoramento dos Ecossistemas ao Norte da Baía de Todos os Santos. Testes Ecotoxicológicos. *Relatório Preliminar*. Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA. Brasil.

National Oceanic and Atmospheric Administration. How Toxic is Oil? *Education Discovery Stories*. NOAA web site, visitado en abril del 2007.

Patin, S. (1979). *Pollution impact on the biological resources and productivity of the World Ocean*. Moscow: Pishepromizdat, 305 pp (en ruso), citado en Patin (1999).

Patin, S. (1999) Factors of the offshore oil and gas industry's impact on the marine

environment and fishing. En. *Environmental Impact of the Offshore Oil and Gas Industry*. EcoMonitor Publishing. NY.

Peterson, C.H Rice, S.D. Short J.W, Esler, D. Bodkin, J.L. Ballachey, B.E., Irons, D.B (2003). Long-Term Ecosystem Response to the Exxon Valdez Oil Spill. *Science* 302: 5653, pp. 2082 – 2086.

Rahman, A. (2004). Heading for a repeat of the Magurchhara disaster. Gas fires and living forests just don't mix. *The Daily Star*.
<http://www.thedailystar.net/2004/12/27/d41227020422.htm>

Rajesh. N. (1999). La Vía de la Controversia. En: *Fluye el petróleo, sangra la tierra*. Ed. Oilwatch. Quito.

Reyes, F. y Ajamil, C. (2005). Petróleo, Amazonía y Capital Natural. Fondo Editorial C.C.E. Quito.

Reyes, F. y Ajamil, C. (2005a). Descripción de los impactos de la actividad petrolera. En: *Petróleo, Amazonía y Capital Natural*. Fondo Editorial C.C.E. Quito.

Reyes, F. y Ajamil, C. (2005b). El agua de formación como pasivo ambiental acumulado. En: *Petróleo, Amazonía y Capital Natural*. Fondo Editorial C.C.E. Quito.

Reyes, F. Ajamil, C y Hernández, J. (2005). Los derrames de petróleo en la Amazonía como masivo ambiental fijo. En: *Petróleo, Amazonía y Capital Natural*. Fondo Editorial C.C.E. Quito.

Reynier, M.V., C. Bandaró-Pedroso, R.S. Mello y A.J. Zamboni. (1994). Testes de ecotoxicidade com microcústáceos *Temora stylifera* e *Mysidopsis juniae* expostos a diferentes efluentes derivados da atividade de produção de petróleo. Pub. ACIESP 87: 424-429.

Rosanía, G. (1993). Memorias del Taller sobre Monitoreo Ambiental a la industria petrolera. Quito.

Royal Society of Preservation of Birds. Oil spills and pollution. www.rspb.org.uk
Visitada en abril del 2007.

Sedell, J.R., Richey, J.E., Swanson, F.J. (1989). The River Continuum Concept: A Basis for Expected Ecosystem Behavior of Large Rivers?. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sciencs* 106: 49 – 55

Science Application Internacional Corporation (1991). Background for NEPA Reviewers: Crude Oil and Natural Gas Exploration, Development and Production. *Preliminary Review*.

Scientists Concerned for Yasuní National Park (2004). *Technical advisory report on: the biodiversity of yasuní national park, its conservation significance, the impacts of*

roads and our position statement.

Schinitman, N. (2005). *Metales Pesados, Ambiente y Salud*. Ecoportal.net

Shigenaka G, *et al.* (1995). Biological effects monitoring during an operational application of Corexit 9580. *1995 International Oil Spill Conference* (Proceedings).

Sierra, R. (Ed.) (1999). Propuesta Preliminar de un sistema de clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito, Ecuador.

Steger R. & Caldwell R. (1993). Reef Flat Stomatopods.. En: Keller, B.D. & J.B.C. Jackson (eds). *Long Term Assessment of the Oil Spill at Bahia Las Minas, Panamá*.

Stephen M. Turton y Freiburge, J. (1997). Efecto del borde y del Aspecto del borde en el Microclima de un Bosque Fragmentado en Atherton, Tableland, Nor-Este de Australia. En: *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities*. Editado por William F. Laurance y Richard O. Bierregaard, Jr.

Tri-State Bird Rescue & Research Inc. Effects of Oil on Wildlife.
(www.tristatebird.org/oilspill/effects_of_oil.htm). Visitado en abril 2007.

UICN y E&P Forum (1991). Pautas de Operación de la Industria Petrolera para las Selvas Tropicales. *Informe No. 2,49/170*.

UK Biodiversity Action Plan. *Grouped plan for baleen whales*.
<http://www.ukbap.org.uk/UKPlans.aspx?ID=753>. Visitado en mayo del 2007.

UNEP (1997) Environmental Practices in Offshore Oil & Gas activities. *Technical Meeting Document*. International Expert Meeting. Noordwijk

US Fish and Wildlife Services, Arctic Wildlife Refuge. Potential Impacts of Proposed Oil and Gas Development on the Arctic Refuge's Coastal Plain: Historical Overview and Issues of Concern. http://arcticcircle.uconn.edu/ANWR/anwr_fws.htm
Visitado en mayo del 2007.

Valencia, R. (1993). Composition and structure of a montane forest in Eastern Ecuador. *AAU Reports* 31: 100

Valencia, R. Balslev, H. y Paz-y-Miño, G (1997). Tamaño y distribución vegetal de los árboles de una Hectárea de un bosque muy diverso de la Amazonía Ecuatoriana. En: *Estudios sobre diversidad y ecología de plantas*. Valencia y Balslev (Ed). PUCE, Universidad de Aarhus, Proyecto DIVA. Quito.

Vinuesa J.H., Lovrich G.A. y Comoglio, L.I. (1989). Temperature – salinity effects on the larvae development in false southern king crab, *Paralomis granulosa*, (Crustacea, Anomura). *Thalassas* 7: 53-57.

Victoria, R. L., *et al.* (2004). Biogeochemistry of the Amazon River Basin: the role of aquatic ecosystems in the Amazon functioning. *Smithsonian/NASA ADS Physics Abstract Service*.

Vooren, C.M. y A.C. Fernandes. 1989. Guia de Albatrozes e Petréis do Sul do Brasil. Sagra, Porto Alegre. RS, Brasil.

Weis J.S., Cristini, A. y Ranga Rao, K. (1992). Effects of pollutants on molting and regeneration in Crustacea. *American Zoologist* 32: 495-500.

Wernersson, A.S. (2004) Aquatic ecotoxicity due to oil pollution in the Ecuadorian Amazon. *Aquatic Ecosystem Health & Management*. 7(1): 127-136

Wills, J. (2000). Environmental Effects of Drilling Waste Discharges En: *A Survey of Offshore Oilfield Drilling Wastes and Disposal Techniques to Reduce the Ecological Impact of Sea Dumping*. Sakhalin Environment Watch