

¿QUE OCURRE CON EL PETROLEO

DERRAMADO EN EL MAR?

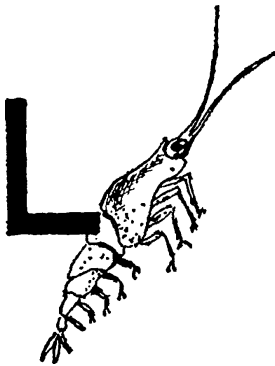
Por

Vicente PEREZ D'Angello

Oficina Anticontaminación

Departamento de Exploraciones

ENAP - Magallanes



LOS OCEANOS DEL mundo (71% de la superficie de la Tierra) constituyen la letrina final de la mayoría de los productos de desecho de las actividades humanas. Por su vastedad, el mar ha sido considerado como un receptáculo sin límites y sin fondo que puede absorber una cantidad ilimitada de sustancias tóxicas. Sin embargo, este concepto está cambiando, porque se está haciendo evidente que el mar, como un organismo, está enfermando, tiene zonas que están muriendo y es urgente su recuperación. El desenfrenado aumento de la población, unido al desarrollo de la tecnología, ha aumentado la presión ejercida sobre el mar como receptáculo de todos los desechos, porque todo, por una u otra vía, va a parar al mar.

Un ejemplo elocuente de lo que significaría la muerte del océano es el caso del Mar Mediterráneo, denunciado por

Jacques Cousteau. Al dar la voz de alarma en 1975, señaló que el que fuera el "Mare Nostrum" de los romanos, la vía marítima de fenicios y cartagineses, el escenario de La Ilíada, la Odisea y la Eneida, recibe cada día los desperdicios de 400 millones de seres humanos, y que el hedor proveniente de sus aguas obligaba a cerrar las ventanas de las oficinas de las ciudades costeras. Afortunadamente, el resultado de las advertencias de Cousteau fue la firma de un tratado, el 17 de febrero de 1976, por doce naciones, para detener la lenta extinción del Mar Mediterráneo y devolverle su antiguo esplendor y vitalidad. Todos los países marítimos contaminan su mar (en Chile, 67 ciudades y pueblos lanzan anualmente al mar 127 millones de kilogramos de excretas y 1.000 millones de litros de orina).

Las partes más sensibles son las que corresponden a la plataforma continental y las regiones de aguas someras de las islas tropicales, que producen nuestros

alimentos de pesquerías y probablemente no excedan del 10% del área oceánica total. El 56% aproximadamente de todos los suministros de pescado del mundo se obtienen de zonas costeras con corrientes de surgencia que comprenden alrededor del 0,01% de la superficie del océano. De acuerdo con la distribución geográfica de toda la biomasa marina, resulta que las partes más productivas de los océanos mundiales se concentran dentro de la región nerítica (*) antes que de la oceánica (**). Y la región nerítica es más susceptible a las fuerzas destructoras de los contaminantes porque es la de mayor actividad humana.

Cuando los contaminantes químicos, entre los que están el petróleo y sus derivados, son vaciados en el océano, no sólo son diluidos y dispersados por las tormentas, vientos, mareas, corrientes, etc., sino que llegan a comprometer íntimamente las complejidades de la red alimentaria del mar.

Anualmente, no menos de 10 millones de toneladas de petróleo crudo y productos derivados ingresan al mar: accidentes de buques tanques, prácticas relacionadas con el deslastre de los buques petroleros, lavado de sentinas de barcos no petroleros, colisiones en los puertos, pérdidas de petróleo durante la exploración y producción, ruptura de oleoductos, etc.

En nuestro país tenemos ya algunas experiencias de accidentes de buques petroleros: "Napier", varó en la Isla Guamblín en junio de 1973, derramando una cantidad no precisada, pero que pudo ser de unas 15.000 toneladas de crudo y de Bunker de consumo de la nave; "Metula", que varó en el bajo Satélite en el Estrecho de Magallanes, en agosto de 1974, vertiendo unas 50.000 toneladas de crudo; "Northern Breeze", que encalló en los farellones de Quintero, en septiembre de 1975, arrojó unas 150 toneladas de petróleo.

(*) Nerítico: ambiente pelágico que se extiende desde la línea de marea baja hasta una profundidad de aproximadamente 200 m. y está limitado a las plataformas continentales y a los mares epicontinentales de poca profundidad.

(**) Oceánico: ambiente pelágico que se extiende a una profundidad mayor de 200 m., mar adentro del ambiente nerítico.

El mar tiene una acción "depuradora" sobre la mayoría de las sustancias que ingresan a él: desaparecen, porque se disuelven, se diluyen, se desintegran o se hunden en sus profundidades. Esto es posible por la intervención de sus componentes bióticos (seres vivos) y abióticos (componentes inorgánicos). Sin embargo, la acción depuradora del mar se realiza fundamentalmente porque toda sustancia orgánica representa una fuente de alimento para alguna clase de organismo. ¿Y quiénes podrían alimentarse de petróleo? Sólo algunos microorganismos que posean las enzimas específicas para metabolizarlo. Y ellos son sólo una minoría dentro del ecosistema marino.

El comportamiento físico del petróleo en el ambiente acuático es conocido de manera incompleta. Siendo su densidad menor que la del agua, flota en la superficie de ella. El espesor de una capa de petróleo libre depende de las características físicas propias y de la temperatura del agua: puede variar en espesor desde unas pocas milésimas de pulgada en aguas templadas hasta un cuarto de pulgada en aguas del Ártico.

El petróleo puede dispersarse a grandes distancias en el agua: en ausencia de corrientes la película aceitosa se moverá en la dirección del viento a una tasa de alrededor de 3-4% de la velocidad del viento; en ausencia de viento, se moverá en la misma dirección y a la misma velocidad que la corriente de agua; y su movimiento puede producirse también por la combinación de viento y corriente.

El tiempo durante el cual el petróleo es detectable en el agua, sedimentos o biota (flora y fauna de una región) se conoce como "tiempo de persistencia".

El petróleo experimenta en el agua de mar una serie de alteraciones físicas, químicas y biológicas, conocidas colectivamente con el nombre de "intemperización". Y mientras se produce, la capa aceitosa continúa moviéndose. Y el petróleo irá degradándose, simplificándose en su composición, a través de los siguientes procesos principales:

1. **Dispersión**: es el primer proceso en producirse. Atenúa la película aceitosa hasta unos pocos milímetros o menos y depende de varios parámetros, entre los cuales están la viscosidad del petróleo, la tensión superficial del agua y del tiempo.

2. "Evaporación": es el proceso mediante el cual los compuestos de peso molecular bajo y punto de ebullición relativamente bajo se volatilizan en la atmósfera. La tasa de este proceso depende también de varios parámetros: viscosidad del petróleo, tipo de petróleo y condiciones climáticas tales como el viento y el estado del mar. La mayor pérdida debida a evaporación ocurre durante los primeros días siguientes al derrame. La tasa de evaporación depende en gran medida de la composición del petróleo. Así, por ejemplo, en abril de 1977, en el reventón del pozo Ekofisk Bravo, en el Mar del Norte, se derramaron 12.000 tons. de petróleo relativamente liviano. Después de nueve días de iniciado el derrame se logró "matar" el pozo. Y tres días después se comprobó que el petróleo derramado, constantemente rastreado por satélite, virtualmente había desaparecido. Se estima que hasta el 40% del petróleo relativamente liviano del Mar del Norte puede evaporarse en un día. Y el petróleo del yacimiento Ekofisk tiene una densidad aún inferior a la del promedio del petróleo del Mar del Norte. Esta fracción volátil, afortunadamente contiene los componentes más tóxicos, o sea, los hidrocarburos aromáticos tales como el benceno y el tolueno. En esta "desaparición" del petróleo probablemente se produjeron también otros procesos además de la evaporación.

3. "Disolución": mediante este proceso los compuestos de bajo peso molecular y los compuestos polares abandonan el petróleo e ingresan en el gran volumen de agua debajo y alrededor de él. La tasa de este proceso también está regida por parámetros como el tipo de petróleo, su viscosidad, el grado de oxidación experimentada antes, durante y después del derrame, y las condiciones climáticas tales como el viento y el estado del mar. Aunque este proceso se inicia inmediatamente, es de larga duración y continúa durante el transcurso total del proceso de intemperización, debido a que la oxidación y degradación microbianas producen constantemente compuestos polares que finalmente se disuelven en el agua.

4. "Emulsificación": proceso por el cual un líquido se dispersa en otro líquido en gotitas de tamaño ópticamente mensurable. En el caso del petróleo puede formarse una emulsión petróleo-en-

agua o agua-en-petróleo. En el caso del "Metula", el petróleo derramado formaba rápidamente una emulsión de agua-en-petróleo ("mousse") que era arrastrada rápidamente a las playas por la acción de los vientos, corrientes y mareas.

5. "Autooxidación": es la reacción catalizada por la luz y mediante la cual los hidrocarburos reaccionan con el oxígeno atmosférico para formar cetonas, aldehídos y ácidos carboxílicos, que son compuestos polares y, por lo tanto, pueden disolverse en el agua o actuar como agentes emulsificantes o detergentes.

6. "Degradación microbiana": proceso multifacético durante el cual ciertas bacterias, actinomicetes, hongos filamentosos y levaduras, utilizan hidrocarburos o hidrocarburos oxidados químicamente como fuentes alimenticias. Según se requiera o no oxígeno, se puede distinguir oxidación microbiana "aeróbica" y "anaeróbica".

La oxidación microbiana anaeróbica la efectúan sólo unos pocos microorganismos. Como fuente de oxígeno utilizan nitratos o sulfatos. Así, por ejemplo, "pseudomonas aeruginosa" reduce nitrato a nitrito mientras actúa sobre los hidrocarburos n-octano o n-hexadecano.

7. "Hundimiento": aunque la densidad del petróleo es menor que la del agua, puede hundirse al aumentar su densidad por evaporación, disolución y oxidación de los hidrocarburos más livianos. Cuando esto ocurre, el principal proceso de degradación del petróleo en el fondo del mar será la oxidación microbiana anaeróbica.

8. "Resurgimiento": si la densidad de la masa de petróleo se reduce a un grado suficiente por oxidación anaeróbica, el petróleo hundido ascenderá en la columna de agua y volverá a flotar. Así, por repetición de los procesos anteriores, el petróleo puede llegar, finalmente, a desaparecer de la superficie del mar o ser arrojado a alguna costa.

Los ocho procesos anotados compondrían la secuencia completa. Podrá apreciarse que es larga la vía de cambios a producirse para que el petróleo desaparezca completamente del ambiente marino. Y el proceso ideal sería el de la degradación microbiana completa, que sea metabolizado por la flora microbiana del mar: bacterias y hongos (levaduras y hongos filamentosos). Sin embargo, nuestros

conocimientos todavía son muy fragmentarios a este respecto. Si bien es cierto que se acepta, de manera general, que las bacterias terminan por metabolizar los hidrocarburos presentes en el océano, se ha comprobado que las bacterias son altamente selectivas y que la degradación completa de un petróleo crudo requiere de muchas especies de estos microorganismos. Además, la oxidación bacteriana produce muchos compuestos intermedios que pueden ser tóxicos para las mismas bacterias. Al mismo tiempo, los hidrocarburos y otros compuestos del petróleo pueden ser bacteriostáticos o bactericidas y, por lo tanto, actuar como inhibidores, reduciendo la tasa de degradación.

También, la tasa a la cual las bacterias oxidan a los hidrocarburos está influenciada principalmente por la dispersión o la solubilidad de los hidrocarburos y por la temperatura del agua. El hidrocarburo sólo puede ser utilizado por el microorganismo si hay contacto del hidrocarburo con el agua. Ya que la mayoría de los hidrocarburos son muy poco solubles en agua, su utilización depende de la emulsificación u otros medios de dispersión en el agua. El crudo que ha entrado en dispersión se hace disponible para una población mucho más grande de microorganismos marinos. Además, las gotitas de 5 a 10 micrones de diámetro de la dispersión son más fácilmente utilizables por las bacterias marinas, que en general tienen un tamaño que oscila entre 2 y 4 micrones.

De todos modos, la defensa que el ambiente marino tiene en sus bacterias contra la contaminación por petróleo es muy débil. Baste decir que para la oxidación completa de 1 galón de petróleo crudo se requiere todo el oxígeno disuelto en 320.000 galones de agua de mar. Por consiguiente, la oxidación puede ser muy lenta en áreas donde el contenido de oxígeno ha disminuido por contaminación previa.

El Laboratorio de Investigación y Desarrollo de ENAP-Concón, mediante su Informe de Laboratorio N9 77-7 "Biodegradación de derrames de petróleo", da cuenta del resultado de la aplicación y efectividad de las bacterias del producto "Petrobac 1", aplicados en un "cultivo" en una playa contaminada con petróleo. Dicha "siembra" en la playa, tratada como placa de cultivo, puso en evidencia

la efectividad del proceso de biodegradación para limpiar una playa contaminada con petróleo.

Respecto al grupo de los hongos, existe bastante información de la acción de diversos géneros de levaduras sobre petróleo crudo y productos refinados. Se ha comprobado que cepas de levaduras efectivas en la biodegradación del petróleo en las aguas dulces también actúan eficientemente en el agua de mar; y que las poblaciones mixtas de levaduras y bacterias seleccionadas y que proliferan bien en fracciones de petróleo crudo consumen más oxígeno que si ambos grupos actuaran separadamente, indicio éste de una mayor actividad metabólica.

Dejando a un lado a las bacterias y hongos marinos, el resto de los organismos habitantes del mar sufre las consecuencias de la contaminación con petróleo crudo, por las siguientes causas:

- 1) Muerte inmediata por recubrimiento y asfixia.
- 2) Muerte inmediata debida a envenenamiento por contacto.
- 3) Muerte por exposición a los componentes tóxicos del petróleo que son solubles en agua.
- 4) Destrucción de los estados juveniles de los organismos que son los más sensibles. Mueren o desarrollan anomalías que finalmente los conducen a la muerte.
- 5) Destrucción de las fuentes alimenticias de las especies superiores.
- 6) Incorporación de cantidades subletales de petróleo y productos derivados del petróleo en los organismos. Esto produce una disminución de la resistencia a las infecciones (principal causa de muerte en las aves).
- 7) Destrucción del valor del alimento por incorporación de petróleo y productos del petróleo en los recursos pesqueros. Así, las ostras adquieren el característico olor a hidrocarburo del agua que contenga un mínimo de 1,5 ppm. Estos moluscos constituyen un magnífico ejemplo del caso en que los hidrocarburos son ingeridos por los animales marinos, pasan a través de

la pared del tubo digestivo y son retenidos por largos períodos de tiempo.

- 8) Incorporación de carcinógenos en la cadena alimentaria marina y fuentes alimenticias humanas. Es necesario destacar que los "hidrocarburos aromáticos polinucleares" (de "alto punto de ebullición") son sospechosos de ser venenos a largo plazo. Entre ellos podemos mencionar al 3,4-benzopireno, aislado recién en 1968 de petróleo crudo de Libia, de Venezuela y del Golfo Pérsico. Se encontró en cantidades que variaron entre 450 y 1-800 mg/tonelada de crudo. Es un potente cancerígeno.
- 9) Efectos de bajo nivel que pueden interrumpir algunas de las numerosas actividades necesarias para la propagación de las especies marinas y para la sobrevivencia de las especies superiores.

Masas flotantes de petróleo cubren actualmente la mayoría de los océanos. Y residuos de petróleo o masas de "alquitrán marino" existen masivamente en las rutas y cercanías de vías utilizadas por los grandes buquestanques. Gran concentración de ellas hay, por ejemplo, en la región noroccidental del océano Pacífico, particularmente en el sistema de la corriente de Kuroshio: la fuente de dicho alquitrán parece ser el lavado de los estanques de los buques petroleros que cubren la ruta que une el Medio Oriente con el Japón. Los residuos que dan origen a este alquitrán aparentemente son descargados por los buquestanques al sur del Japón, llegan a la corriente de Kuroshio y crean una pluma de contaminación que se extiende corriente abajo por 7.000 km. a través del Pacífico. Una situación semejante se presenta en el Atlántico. De acuerdo con la información disponible, desde 1967 a 1972, el Pacífico Sur virtualmente carecía de alquitrán flotante debido a un mínimo tráfico de buquestanques.

El análisis del alquitrán pelágico ha demostrado que estas masas, del tamaño de pequeños guijarros, si bien difieren en su composición de acuerdo con la región en que hayan sido recogidos y con el tiempo que hayan experimentado procesos de intemperización, siguen compor-

tándose como fuentes de hidrocarburos que van a continuar contaminando el agua mientras existan.

En síntesis, mientras exista petróleo en el agua de mar, en cualquiera de sus formas, hay contaminación.

En los primeros 100 m. superficiales de agua del mar se encuentra mas del 90% de la biomasa del plancton: esta zona superior, iluminada, en la que tiene lugar la fotosíntesis, es la región productora; la zona subyacente, es la región consumidora.

Veamos la relación entre las poblaciones de las regiones productora y consumidora. Los animales de esta última penetran a la primera para alimentarse. Debido a esto, los animales suelen encontrarse a diversas profundidades en el curso del día. Durante el período de oscuridad, se congregan más cerca de la superficie, donde se alimentan y al mismo tiempo sirven de alimento a los predadores que viven en la zona o entran especialmente a ella. Y tan pronto como sale el sol comienzan a descender hacia las capas más profundas del agua. Así, se produce una migración vertical de los animales del plancton en la columna de agua que tiene un rango que varía entre unos pocos metros a 800-1.000 m. o más.

Como resultado de las migraciones diarias de los animales que permanecen en la superficie durante la noche y descienden a profundidades durante el día, la materia orgánica es transportada a la zona abisal, por la activa conexión entre la zona superficial (productora) y la zona abisal (consumidora). La materia orgánica, producida por fotosíntesis en la zona superficial es, en consecuencia, transportada activamente a las más grandes profundidades oceánicas en esta "escala de migraciones" en la columna de agua. Y ésta constituye una vía activa para el transporte del petróleo y de sus productos desde la superficie hasta los sedimentos del fondo. Ya hemos dicho que la degradación del petróleo en los sedimentos del fondo marino es un proceso muy lento por insuficiencia de oxígeno. Y se ha comprobado que los peces pueden adquirir su "olor a hidrocarburo" tanto del mar como del lecho marino. En un principio, se aceptaba que el agua debía tener un mínimo de 1,7 ppm. de hidrocarburo para que el pez adquiriera el característico olor; estudios experimenta-

les han demostrado que la mínima concentración para ello es de 0,01 ppm., presentándose diferencias específicas. Como experimentalmente se ha demostrado que es difícil comunicar a un pez un olor desagradable por administración oral, es probable que el petróleo de los sedimentos del fondo sea absorbido a través de las branquias que rozan el lecho marino; también experimentalmente se ha encontrado que el fango que contenga 0,2% de petróleo (base seca) es capaz de comunicar al pez un olor extraño.

Finalmente, debemos destacar que, exceptuando a las bacterias y hongos, el resto de los vegetales flotantes fotosintetizadores (fitoplancton) no es capaz de metabolizar el petróleo, por lo cual a su contacto sólo se contaminan. Los animales tampoco son capaces de utilizar el petróleo, por lo cual, los componentes del zooplancton (plancton animal) al consumir fitoplancton lo único que hacen es acumular hidrocarburos en su cuerpo; luego, el zooplancton sirve de alimento a los animales carnívoros que vuelven a acumular y concentrar hidrocarburos en sus tejidos hasta que la materia alimenticia llega finalmente al hombre. ¿Y qué recibe éste? Pues, un alimento con un "concentrado de hidrocarburos".

Y dicho "concentrado de hidrocarburos" podrá ser bastante variado. Y podrá afectar seriamente al organismo.

Por otra parte, los hidrocarburos no son totalmente ajenos al mundo viviente. Considérese que el "kelp" (las algas pardas) es una típica "fábrica" de hidrocarburos: y que el contenido de hidrocarburo de los microorganismos llega hasta alrededor de un 0,03 %. E incluso, se acepta que la cantidad de hidrocarburos producidos quimiosintéticamente por los vegetales marinos es equivalente a la introducida en el ambiente marino por los derrames de petróleo, los cuales en último caso, serían una sobrecarga del sistema.

Si el grado de contaminación fuera demasiado intenso y continuado, por una parte se afectaría o destruiría la biota marina, que es la fuente mas grande de recursos alimenticios y el mas grande potencial de recursos bioquímicos (nuevas drogas), limitada a las plataformas submarinas y las islas tropicales; por otra, los hidrocarburos consumidos con los alimentos se ligan a los lípidos, estos se movilizan en el organismo ligándose a su vez a proteínas y éstas finalmente llegan a afectar a los ácidos nucleicos, con un resultado final que puede significar el deterioro del código genético, que es la memoria de la especie", producto de una larga evolución que ha permitido al hombre llegar a ser "Homo sapiens".

Bibliografía:

- ANONIMO.—1977.— Where goes the oil? Nature "267" (5.607): 100.
- DIDYK, B.—1977.— Biodegradación de derrames de petróleo. Informe de Laboratorio N° 77-7. Laboratorio de Investigación y Desarrollo, ENAP-Concón.
- GUZMAN M., L.—1976.— Algunas consideraciones ecológicas en torno a la contaminación producida por el B|T "Metula" en el Estrecho de Magallanes. "In" ORREGO VICUÑA, F. (ed.). Preservación del medio ambiente marino: 178-198. Editorial Universidad Técnica del Estado.
- OPAZO R., A.—1976.— Los casos "Napier" y "Metula": los antecedentes del hecho. "In" ORREGO VICUÑA, F. (ed.). Preservación del medio ambiente marino: 154-176. Editorial Universidad Técnica del Estado.
- PEREZ D'A., V.—1976.— El petróleo como contaminante del ambiente marino. Informe ENAP Magallanes, Departamento de Exploraciones, División Geología, Oficina Anticontaminación, 70 pp.

