

Agustín Escardino Benlloch

Catedrático y Jefe del Departamento de Química Técnica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valencia y Director del Colegio Universitario de Castellón.

EL PETROLEO Y LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS DEL MAR

Conferencia inaugural del curso que, sobre "Contaminación industrial", se dictó en la Universidad de Verano de Vigo durante el mes de agosto de 1974.

INTRODUCCIÓN

La protección y conservación del medio ambiente, y la reducción de la contaminación son temas del máximo interés en la problemática presente.

Uno de los más graves problemas de contaminación, planteado a escala mundial, es el originado por la creciente presencia de petróleo en las aguas del mar, la cual ocasiona los más variados daños, que abarcan desde la muerte de una enorme cantidad de seres marinos al ensuciamiento de playas, puertos y costas de muchos países.

No es propósito de este trabajo hacer un estudio exhaustivo del tema, sino exponer el estado actual del problema y cuales son las medidas que los organismos públicos y privados están adoptando para prevenir, reducir y, a ser posible, evitar la contaminación de las aguas del mar por petróleo.

CAUSAS QUE MOTIVAN LA PRESENCIA DE PETRÓLEO EN LAS AGUAS DEL MAR

El petróleo que va a parar a los mares puede proceder de la atmósfera, de la tierra o de operaciones realizadas dentro del mismo mar.

1. — *Contaminación desde la atmósfera.*

Según opinan algunos investigadores, la contaminación del mar por hidrocarburos se produce, en cierta medida, por el viento o la lluvia que arrastran consigo gases procedentes de la evaporación de petróleo o productos petrolíferos (lluvia de hidrocarburos).

2. — *Contaminación desde tierra.*

Se puede producir como consecuencia de filtraciones del petróleo que hace millones de años subyace bajo el fondo de los mares.

Puede también ser debida a las corrientes fluviales o a las aguas residuales procedentes de las grandes ciudades. En efecto, casi todas

las aguas de la tierra, más tarde o más temprano, vierten al mar y, en la mayor parte de los casos, a ellas van a parar los productos petrolíferos residuales de las estaciones de servicio de vehículos, los cambios de aceite realizados en garajes y talleres, los efluentes de algunas refinerías del interior, los desagües de otras instalaciones industriales, los derrames procedentes de barcazas y los residuos petrolíferos de los aeropuertos.

Asimismo pueden verter al mar desechos industriales y aguas residuales procedentes de refinerías o plantas petroquímicas ubicadas junto a la costa.

3. — Contaminación desde el mar.

Puede verterse petróleo directamente dentro del mar en cualquiera de las siguientes fases de la industria del petróleo:

— Extracción: Por fugas, derrames o reventones de tuberías durante la perforación o explotación de pozos petrolíferos submarinos.

— Transporte marítimo:

- a) Como consecuencia de operaciones de rutina de los petroleros tales como: deslastre y limpieza de tanques.
- b) Por accidentes en el mar (choques, encalladuras, explosiones, etc.).
- c) Por accidentes o negligencias durante las operaciones de descarga de crudo o de carga de productos del petróleo en terminales marítimas situadas en puertos o en campos de boyas cerca de la costa.

Asimismo se vierten considerables cantidades de residuos de petróleo o derivados del mismo desde buques mercantes y pequeñas embarcaciones, como consecuencia, principalmente, de accidentes, de escapes y de las operaciones de limpieza de los tanques donde se almacena el combustible.

En la tabla I se detalla la proporción en que las diferentes causas de contaminación, antes indicadas, contribuyeron, durante el año 1970, a la presencia en el mar de productos petrolíferos. En dicha tabla se han excluido los vertidos desde embarcaciones de recreo, los hidrocarburos procedentes de la atmósfera y el petróleo aportado por posibles filtraciones naturales.

T A B L A I (1)

ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS MARES POR PETRÓLEO DURANTE
EL AÑO 1970 (T.M.)

	POR CONCEPTO	
	<i>Parcial</i>	<i>Total</i>
1. Operaciones en el mar.		
1.1. Petroleros.		1.387.000
— Operaciones de limpieza de tanques con sistema LOT o “carga encima”.	265.000	
— Operaciones de limpieza sin sistema LOT.	702.000	
— Derrames debidos a vaciado de sentinas, escapes y pérdidas en el suministro de combustibles a buques.	100.000	
— Siniestros de buques.	250.000	
— Operaciones en terminales.	70.000	
1.2. Barcazas petroleras.		70.000
— Derrames de petróleo debidos a escapes.	20.000	
— Siniestros de barcazas.	32.000	
— Operaciones en terminales.	18.000	
1.3. Otros buques.		850.000
— Derrames de petróleo debidos a vaciado de sentinas, escapes y pérdidas en el suministro de combustible a buques.	600.000	
— Siniestros de buques.	250.000	
1.4. Plataformas de extracción de petróleo submarino.	100.000	100.000
TOTAL DE OPERACIONES EN EL MAR.		2.407.000
2. Operaciones fuera del mar.		
2.1. Refinerías e instalaciones petroquímicas.		300.000
2.2. Maquinaria industrial.		750.000
2.3. Vehículos de motor.		1.440.000
TOTAL DE OPERACIONES FUERA DEL MAR.		2.490.000
TOTAL GENERAL.		4.897.000

A la vista de esta cifras, es fácil deducir que el porcentaje de contaminación producida "desde el mar" fue prácticamente del mismo orden que el resultante de "operaciones realizadas desde tierra".

El total de petróleo vertido "desde el mar" fue de dos millones cuatrocientas setemil toneladas. Las operaciones de rutina de los petroleros (limpieza de tanques y deslastre) supusieron el 40% de esa cifra. Aunque más espectaculares y con una publicidad mucho mayor, los accidentes de petroleros con importantes derrames originaron sólo un 10% de la cantidad antes citada. Mientras el resto de los buques fueron responsables de un 35% del total del petróleo y residuos petrolíferos vertidos por operaciones en el mar.

Si se tiene en cuenta que durante aquel mismo año se transportaron por mar 1.500 millones de toneladas de crudo, el porcentaje de petróleo vertido "por operaciones en el mar" supuso un 0,17% del total transportado, correspondiendo otro tanto a las operaciones realizadas fuera del mar.

El peligro de contaminación por petróleo se está acentuando cada vez más dada su enorme y creciente demanda. En efecto, el petróleo es en la actualidad la principal fuente de energía primaria y, además, parte de sus derivados se utilizan como materia prima de la pujante industria petroquímica. A pesar de los aumentos de precio acordados recientemente por los países productores, se estima que el consumo mundial de crudo, que ascendió a 2.467 millones de toneladas durante el año 1970, seguirá incrementándose considerablemente, de modo que, a lo largo de la década de los setenta es posible que alcance la cifra de 39.000 millones de toneladas.

En el supuesto de que el porcentaje de vertidos se mantenga en un 0,34% del total transportado, la cantidad de petróleo que, durante estos diez años, irá a parar al mar será del orden de 130 millones de toneladas, cantidad harto respetable.

SITUACIÓN Y DESPLAZAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE PETRÓLEO EN EL MAR

Las plataformas marinas de extracción suelen hallarse relativamente cerca de la costa, y a menos de 100 millas de ella discurren la mayor parte de las rutas de petroleros y otros buques. Por otra parte, los vertidos procedentes "de tierra" van a parar a la misma orilla o cerca de ella. Como consecuencia, la concentración de residuos petrolíferos tiende a ser mayor en las zonas litorales, donde desovan, se crían y son capturados la mayor parte de los peces y otras especies marinas.

No se conoce exactamente cual es el destino final del petróleo vertido al mar. Parte de él va a parar a las playas, costas y puertos (rara es la persona que no haya visto alquitrán ensuciando las arenas de la playa o que no haya observado grandes manchas aceitosas en los puertos). Otra parte se evapora, es biodegradada, se disuelve en el agua del mar o se sedimenta en el fondo, en zonas poco profundas; el resto se coagula formando glóbulos que flotan durante largo tiempo en la superficie de las aguas. En efecto, se han encontrado indicios de petróleo en lugares poco frecuentados por la navegación y muy alejados de la costa o de las rutas de los petroleros. El explorador y escritor noruego Thor Heyerdahl señala, en su cuaderno de bitácora, la presencia de glóbulos de alquitrán, flotando en la superficie del mar, durante las tres cuartas partes de su viaje (de cincuenta y siete días) a través del Océano Atlántico, desde Marruecos a Barbados. Esta observación confirma el hecho de que algunas formas de contaminación por petróleo (concretamente los glóbulos de alquitrán) son relativamente persistentes y se desplazan a través del mar a grandes distancias.

TOXICIDAD DEL PETRÓLEO

Huelga decir que nuestra preocupación debe ir más allá del aspecto superficial o estético de la contaminación del mar por petróleo. A nadie le gusta ver alquitrán manchando las playas o aceite flotando en el mar, pero su eliminación o dispersión quizás no solucione completamente el problema. Es necesario saber si el petróleo, al ponerse en contacto con el agua, puede llegar a ser perjudicial de algún modo todavía no conocido u observado.

Existe cierta disparidad de criterios acerca del destino final del petróleo en el agua del mar. No se sabe, con seguridad, si entra o no a formar parte del ciclo vital de las especies marinas. La opinión científica está dividida respecto a la magnitud del peligro que dicho petróleo encierra para el hombre y, en el peor de los casos, en lo que concierne al momento en que ese peligro comenzaría a dejarse sentir.

— El profesor Pacques Piccard, señala que “el fitoplancton, conjunto de microorganismos vegetales marinos que generan por fotosíntesis la mayor parte del oxígeno del mar, se encuentra en la superficie de las aguas, bastando una capa (o mancha) de petróleo o aceite para que muera, trastornándose gravemente todo el ciclo marino”. Este trastorno o perturbación parece estar ya en marcha. En efecto, el conocido explorador submarino Jacques-Ives Cousteau, opi-

na que "durante los últimos años, la vida en nuestros océanos ha disminuido en un cuarenta por ciento".

— El Dr. Anatoly Simonov, del Instituto Oceanográfico de la Unión Soviética, afirma que los mares que rodean Europa están completamente contaminados por petróleo, hasta el punto de que, a cientos de kilómetros mar adentro pueden detectarse ya concentraciones de hidrocarburos a los más altos niveles permisibles en su país. En consecuencia, estima que la contaminación del mar por productos petrolíferos está llegando a convertirse en un grave problema mundial.

— El Dr. Max Blumer, del Instituto Oceanográfico de Wods Hole, considera el petróleo como un grave peligro para la vida marina. Sugiere que es más persistente de lo que creen algunos investigadores, que es tóxico para los seres marinos, y que, bajo ciertas condiciones, algunos de sus componentes son productores de cáncer. Afirma asimismo, que el petróleo, con sus elementos carcinógenos (el benzopireno por ejemplo), puede incorporarse a los tejidos de los animales y llegar, a través de la cadena de alimentos marinos, a niveles de concentración en el hombre que podrían suponer un serio peligro para su salud (2).

— Finalmente el columnista norteamericano Jack Anderson firmaba recientemente unos artículos periodísticos, en los que denunciaba la existencia de cierto informe secreto, de la Academia Nacional de Ciencias de los EE. UU., en el que se advertía textualmente "que la contaminación por petróleo en los alimentos marinos podía favorecer el desarrollo del cáncer, así como provocar defectos de nacimiento y otros horrores médicos".

En contra de estas opiniones, quizá extremadamente alarmistas aunque no exentas de fundamento, cabe citar las siguientes:

— El Dr. Claude Zo-Bell, microbiólogo marino de la Institución Scripps de Oceanografía, cree que los residuos de petróleo vertidos en el mar, si están adecuadamente dispersos, pueden ser biodegradados por las bacterias marinas y convertidos en elementos inocuos antes de incorporarse a la cadena alimenticia.

— Otros científicos han demostrado que los componentes carcinógenos localizados en el petróleo se forman también en el proceso natural del crecimiento vegetal y se encuentran en casi todas las plantas terrestres o marinas. Dichos componentes están presentes en la mayor parte de los terrenos de cultivo en proporción igual o superior a la que se encuentran en los crudos de petróleo.

— El Dr. Levinthal hace notar que el hombre capta mucho más benzopireno de fuentes atmosféricas que de los alimentos marinos,

a los que situaría muy bajos en una escala de contaminantes tóxicos; muy por debajo, por ejemplo, del humo de los cigarrillos.

— Otros investigadores han descubierto cantidades variables de dichos componentes en organismos marinos, pero no han encontrado una relación directa entre la proporción de hidrocarburos carcinógenos contenidos en dichos organismos y la concentración de petróleo existente en la zona marítima en que viven.

Ante esta disparidad de criterios, la opinión más generalizada, entre los científicos que trabajan sobre este tema, es que se requiere una información más completa, que la disponible actualmente, antes de llegar a elaborar unas conclusiones definitivas sobre los efectos de la presencia de petróleo en el mar.

En efecto, no se tienen datos fiables acerca del contenido efectivo de petróleo en el agua del mar, pues la poca información que se posee no es coincidente. En general, se ha observado que la concentración de hidrocarburos persistentes suele ser bastante baja en alta mar (del orden de dos a diez partes por cada mil millones), disminuyendo rápidamente con la profundidad (a 10 metros de profundidad suele ser aproximadamente la cuarta parte que la observada en la superficie).

La única experiencia cierta que se tiene, hasta el presente, deriva de los resultados observados después de grandes derrames de petróleo. Cuando tiene lugar un derrame, se producen profundos cambios biológicos en la zona afectada que pueden persistir durante varios años, pero no parecen causar un perjuicio biológico permanente. La repoblación de organismos marinos en la zona afectada suele comenzar al cabo de uno o dos ciclos biológicos, restableciéndose las comunidades ecológicas, aunque, con frecuencia, presentan algunas diferencias sobre las que las precedieron.

Como confirmación de esta necesidad de una información más completa, hace pocos meses (3) se anunciaba, en un artículo sobre este tema, que en enero de 1975, se pondría en marcha un proyecto para investigar la contaminación por petróleo en determinadas zonas de los océanos, prestándose especial interés a la presencia de glóbulos de alquitrán, aceite e hidrocarburos (preferentemente aromáticos).

CONTAMINACIÓN ATRIBUIBLE A LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO

La industria del petróleo está seriamente involucrada en la contaminación de los mares. De la tabla antes expuesta se deduce que alrededor del 38% de la contaminación del mar por petróleo se debe a distintas fases u operaciones de la mencionada industria, como son: extracción de crudo en pozos submarinos, transporte y refino. A continua-

ción nos ocuparemos con cierto detalle de estas operaciones manejando algunas cifras y referencias, para apoyar en ellas nuestros razonamientos.

1. — *Extracción de petróleo en pozos submarinos:*

Esta operación sólo contribuye actualmente en un 2% a la contaminación total del mar por petróleo. No obstante, es posible que en un futuro no muy lejano se incremente ese porcentaje o, al menos, el riesgo de que aumente. Esto se debe a que las grandes compañías de petróleo han vuelto sus ojos hacia el mar, donde se considera que existen grandes reservas de crudo cuya explotación, apenas iniciada en la actualidad, se acrecentará en breve. Sirva de ejemplo el reciente descubrimiento de importantes yacimientos petrolíferos en el Mar del Norte, en aguas de Gran Bretaña, y los más recientes rumores sobre la existencia de petróleo en el mar Egeo.

Durante esta operación puede producirse contaminación de las aguas como consecuencia de fugas, derrames o reventones de tuberías. El número de accidentes registrados es muy pequeño, sobre todo si se tiene en cuenta la gran cantidad de pozos que se han abierto en aguas de todo el mundo. Sólo en los EE. UU. se han perforado más de 15.400 pozos desde 1948, de los cuales quedan en activo varios millares. Pues bien, durante este periodo de 26 años se han producido unos treinta reventones, de los que diez fueron calificados como "graves", y sólo tres de ellos plantearon auténticos problemas de contaminación. El más importante ocurrido en enero de 1969 en el Canal de Sta. Bárbara (California), supuso el derramamiento de más de 1.700 toneladas de crudo a lo largo de diez días, ocasionando la muerte de numerosas aves y de gran parte de la comunidad marina de la zona.

2. — *Transporte de crudo y derivados del petróleo.*

La mayor parte del petróleo que se consume se transporta por vía marítima desde los países productores (Oriente Medio, Africa del Norte y Oriental, Venezuela, etc) hasta los principales consumidores (Europa Occidental, Japón, EE. UU., etc.).

2.1. Deslastre y limpieza de tanques.

La operación que da lugar al mayor volumen de petróleo vertido al mar desde los buques cisterna es la de lastre y deslastre; como se ha podido apreciar en las cifras que se detallan en la tabla 1.

El ciclo completo de navegación de un petrolero implica un viaje de ida en vacío, hacia el centro de producción, y un viaje de vuelta cargado de petróleo. En el viaje de ida es necesario lastrear el buque con agua del mar para favorecer su estabilidad. Este agua, cuando se introduce en los tanques, se mezcla con los restos de petróleo que quedaron impregnando las paredes de aquellos y con los lodos del fondo, de modo que cuando se devuelve otra vez al mar, para deslastrear y proceder de nuevo a la carga de los depósitos, arrastra gran parte de ese petróleo. Con el nuevo sistema de "carga encima" (load on top" o simplemente LOT), que se describirá más adelante, se ha conseguido reducir considerablemente la cantidad de petróleo que se arroja al mar junto con el agua de lastre.

2.2. Accidentes y siniestros de buques petroleros.

Como se ha comentado anteriormente los accidentes o siniestros de los buques cisterna originan una contaminación por petróleo menor que la debida a otras operaciones de rutina, pero, sin embargo constituyen una causa de contaminación grave e inmediata, que es generalmente más visible y espectacular, ya que las grandes manchas, que como consecuencia de ellas se producen, suelen desplazarse y centrarse en las zonas costeras, ensuciando las playas y sembrando la destrucción de la biocenosis marina en la zona afectada.

El naufragio del "Tampico Maru", en 1957 frente a la costa baja de California, tuvo como consecuencia un derrame de fuel oil número 2 que causó la muerte inmediata de gran parte de la fauna de la zona. Aunque la vida marina se restauró de modo sustancial al cabo de un año, algunos años después todavía eran evidentes algunos efectos del derrame.

La encalladura del "Torrey Canyon" en el escollo de Seven Stones, cerca de Lands End (Inglaterra), en 1967, trajo como consecuencia el derrame de miles de toneladas de petróleo, que motivó la contaminación de la costa francesa e inglesa durante meses, ocasionando además una gran mortandad de aves y peces. Este accidente estremeció de modo dramático la conciencia pública, pues aunque no era, ni mucho menos, el primer accidente de un petrolero, ni el primer derrame de petróleo en el mar, sí que era la primera vez que tenía como protagonista un gran buque cisterna de 120.000 toneladas de peso muerto (t.p.m.), unido a la proximidad de playas y zonas densamente pobladas.

El accidente del "Polycomander" frente a la costa de Vigo, seguido del incendio de parte del crudo derramado, causó honda impresión en la opinión pública española. También en éste caso llegó la "mancha" de petróleo a las playas; aunque, gracias a la rápida puesta en

ejecución del "Programa de Mares Limpios" llevado a cabo por personal de las empresas ESSO en España, pudo atenuarse la gravedad de los efectos del siniestro.

Otros muchos accidentes importantes han ocurrido posteriormente, como el del "Arrow", en las proximidades de la costa occidental canadiense, en 1970; el del petrolero panameño "Texaco Caribbean" en febrero de 1971, que hizo explosión al ser alcanzado por un carguero frente a la costa de Folkestone, y que trajo como consecuencia la colisión con sus restos y consiguiente naufragio de otros dos cargueros: el Brandenburg (alemán) y el Niky (griego); también en febrero de dicho año el buque-cisterna "Hydrophane" fue alcanzado por el carguero chipriota "Aragón"; en marzo, el petrolero liberiano "Trinity Navigator", con 42.000 toneladas de crudo a bordo varó en la playa cerca de Berry Head, en Devon, y el petrolero Panther (liberiano), con 25.000 toneladas de crudo embarrancó en Goodwin Sands, etc., etc.

La gravedad de los efectos biológicos de estos derrames dependen de muchos factores, siendo uno de los más importantes la naturaleza del producto que se derrama. Los diferentes crudos y el fuel-oil número 2 y 6 son las materias que con mayor frecuencia se vierten al mar por causa de derrames. Los efectos biológicos del fuel-oil número 2 son más inmediatos que los del número 6 y los de éste a su vez lo son más que los de los crudos. Otros factores a considerar son: La cantidad de producto derramado; las características de la zona (que determinan el tiempo que el petróleo permanecerá en la misma y su posibilidad de dispersión); la época del año; las condiciones atmosféricas en el momento del derrame, etc.

Además de las encalladuras, colisiones, fuegos y explosiones, existen otros tipos de accidentes que, como las rupturas de mangueras y tuberías y el desbordamiento de los tanques, son causa de contaminación marina. Las causas de éstos accidentes son muy diversas. En la mayor parte de los casos suelen deberse a fallos humanos o mecánicos, errores de navegación o perturbaciones atmosféricas.

3. — *Refino: refinerías e instalaciones petroquímicas.*

En los países bañados por el mar, casi todas las refinerías están cerca de la costa. Por tanto son posibles fuentes de contaminación del mar por petróleo.

La contaminación puede producirse como consecuencia: a) de la descarga de crudos y carga de productos en las terminales marinas; b) de posibles filtraciones a las aguas freáticas; c) de la descarga de residuos o desechos industriales; d) de contaminantes presentes en las aguas residuales.

Aunque el grado de contaminación de las aguas residuales varía enormemente de unas plantas a otras (según las unidades de que constan, el tipo de crudo empleado y la localización de las mismas), en términos generales puede afirmarse que suele ser bastante inferior al de otros tipos de industria, como puede deducirse al comparar en la tabla II los valores medios de la DBO de aguas residuales de diversas procedencias.

T A B L A II (4)

VALORES MEDIOS DE LA DBO PARA DISTINTOS TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

<i>Procedencia</i>	DBO <i>p.p.m.</i>
Azucarera (remolacha)	850
Cervecera	550
Papelera	25.000
Refinería de petróleos (aguas sulfhídricas)	850
Conjunto de aguas residuales	125
Curtidos	2.300
Aguas residuales municipales	350

MEDIDAS PREVENTIVAS:

Se están adoptando medidas, cada vez con mayor seriedad y eficacia para reducir al máximo las distintas causas de contaminación antes descritas. Las grandes compañías petrolíferas y los gobiernos están procurando desarrollar técnicas y métodos, así como instruir al personal, para evitar lo que podría degenerar en un desastre a escala mundial.

1. — *Prevención de derrames.*

Los derrames de petróleo se clasifican, según normas de los EE. UU., en a) graves, cuando son superiores a las 400 toneladas; b) moderados, cuando están comprendidos entre 40 y 400 toneladas; c) leves, si son menores de 40 toneladas.

a) Derrames en plataformas de extracción de pozos submarinos.

En las instalaciones de extracción de crudo en pozos submarinos, el especial diseño y construcción de las plataformas hace que el riesgo de derrames sea mínimo. Para estar seguros de que esas inmensas es-

estructuras pueden soportar la furia de los elementos, se han incorporado en su concepción y diseño los resultados de profunda investigación sobre los efectos del viento, de las olas, de los movimientos de tierra, de la profundidad del agua, de las corrientes y de los fondos marinos. Las estructuras marítimas que se utilizan actualmente en las profundas aguas del Golfo de México pueden soportar vientos de hasta 250 km/hr. y olas de hasta cerca de 20 m. de altura. Las plataformas situadas en la ensenada de Cook, de Alaska, han hecho frente satisfactoriamente a un peligro especial: témpanos de hielo de más de 2 m. de espesor. Durante el invierno las rápidas corrientes y fuertes mareas arrastran esos témpanos dentro y fuera de la ensenada. Por otra parte, la inmensa mayoría de los pozos submarinos en producción están provistos de un dispositivo de seguridad conocido con el nombre de "obturador de tormentas" que permite, al incrementarse súbitamente la presión en el pozo o la afluencia de petróleo, cerrar automáticamente el orificio de salida, cortando, de ese modo, la producción. Así, por ejemplo, si un huracán amenaza las instalaciones, es posible, mediante el citado obturador, bloquear completamente la salida de petróleo. Periódicamente se efectúan revisiones para evitar que la presencia de arena o de cualquier otro tipo de obstáculo impida el correcto funcionamiento del obturador. Toda nueva instalación dispone de una válvula de seguridad controlable desde la superficie.

No obstante, a pesar de todas estas precauciones, se puede producir un reventón. La forma de actuar normalmente en estas circunstancias es la siguiente: Primero se trata de cerrar el pozo con las válvulas o equipo de control de que se dispone. Si de esta forma no se resuelve el problema, se pueden usar otros procedimientos. En algunos casos se hace descender hasta el fondo una tubería, que envuelve a la siniestrada, y que está provista de las correspondientes válvulas. Cuando la tubería está bien sujeta al fondo, sobre la boca del pozo, se van cerrando las válvulas una a una hasta que aquél queda de nuevo bajo control. Estas operaciones pueden realizarse en pocas horas. Si por cualquier razón este procedimiento falla, se suele perforar un pozo de desahogo. Para ello hay que desplazar un equipo de perforación a un punto cercano y taladrar un pozo, en ángulo, de modo que llegue cerca del fondo del siniestrado. A continuación se inyecta lodo a presión elevada para detener el flujo de petróleo. Para aplicar este procedimiento que presenta grandes dificultades, se requieren varias semanas.

El mejor medio de evitar accidentes de este tipo es la prevención. Las grandes empresas explotadoras de petróleo han creado escuelas para adiestrar, en el tratamiento de reventones o explosiones, al per-

sonal que trabaja en las plataformas marinas de extracción. En algunas Universidades de EE. UU., como la de Lousiana, se dictan cursos de entrenamiento en esta especialidad.

b) Vertidos como consecuencia de las operaciones de deslastre y limpieza de tanques en los petroleros.

Como se ha visto en la tabla I, durante 1970 se vertieron al mar, en estas operaciones de rutina, alrededor de 1.100.000 toneladas de petróleo. Aunque esta cantidad, considerada de un modo relativo, teniendo en cuenta que el total de crudo transportado aquel mismo año fue de 1.500 millones de toneladas por una flota petrolera constituida por cerca de 4.000 buques-cisterna, podría argumentarse que no es demasiado elevada, si lo es de forma absoluta y debe reducirse en lo posible.

La técnica LOT o de "carga encima", que se desarrolló a principios de los años 60, ha reducido de manera considerable, como ya se ha indicado anteriormente, la cantidad de petróleo vertida al mar en estas operaciones de rutina. Fue concebida inicialmente por Shell y adoptada en 1964 por otras compañías petrolíferas como uno de los puntos fundamentales de su programa "MARES LIMPIOS".

La actual puesta en práctica de esta técnica por el 80% del tonelaje petrolero, ha reducido la contaminación marina, originada por estas operaciones, en 3 millones de toneladas al año. Estimaciones recientes indican que los petroleros que no practican este sistema son responsables de casi el 75% de la contaminación anual que se produce como consecuencia de aquéllas.

En esencia, el procedimiento LOT o de "carga encima" (load on top), consiste en separar por decantación el agua (de lastre y de limpieza de los tanques) y el petróleo residual mezclado con ella, devolviendo al mar solamente el agua. La nueva carga de crudo se echa encima del residuo de petróleo separado. Cuando se descarga un petrolero, aproximadamente el 1% de su cargamento queda adherido a las paredes y fondos de los tanques. Tras la descarga, los tanques se lavan completamente con agua antes de lastrarlos, y la mezcla de agua y petróleo procedente del lavado se transvasa a unos tanques de residuos. Esta mezcla se mantiene durante cierto tiempo en los mencionados tanques para que el agua y el petróleo se vayan separando por decantación. La capa acuosa, más densa, se sitúa en la parte inferior de los tanques. Al cabo de cierto tiempo, se bombea el agua desde el fondo al exterior del buque hasta que se alcanza el nivel del petróleo que flota sobre ella, interrumpiéndose entonces la operación.

Puede suceder que los tanques no se laven antes de lastrarlos con agua, en cuyo caso la decantación tiene lugar, durante el viaje, en los mismo tanques que contienen el lastre. Al cabo de cierto tiempo, el agua se bombea al mar y los residuos que sobrenadan se transvasan a los tanques de residuos donde se verifica una segunda separación. El petróleo que finalmente queda en el fondo de los tanques de residuos pasa a formar parte de la nueva carga.

Este sistema que, según se ha comentado anteriormente, reduce considerablemente el volumen de petróleo que se arroja al mar, no es efectivo al 100%. Ello se debe a que esta técnica exige que el viaje sea de una duración relativamente larga para que haya tiempo suficiente para realizar la separación por decantación. Otro factor a considerar es el estado del mar, pues en mares agitados la efectividad de la separación disminuye considerablemente, ya que para su perfecta realización se requiere reposo absoluto. Por otro lado, en la práctica, resulta muy difícil determinar con precisión el plano que separa las dos fases, por lo que, con frecuencia, se vierte algo de petróleo antes de detener el bombeo.

Aunque el objetivo de las enmiendas de la IMCO (Organización Consultiva Intergubernamental Marítima, órgano de la ONU) en 1969, con la puesta en marcha de este método, era el de reducir los derrames derivados de las operaciones de los petroleros a 1/15.000 ($\approx 0,07\%$) del tonelaje de los buques, los petroleros que utilizan el sistema LOT rara vez consiguen alcanzar ese mínimo, aunque algunas pruebas han demostrado que con un riguroso cumplimiento de los procedimientos establecidos, complementados con mecanismos de control, es posible conseguirlo.

Otras soluciones para reducir el petróleo que se vierte en las operaciones normales de los petroleros son: *i*) recogida y tratamiento del lastre en instalaciones costeras; éste método no hace sino transpasar el problema del mar a la costa, originando graves dificultades en la zona de recepción para deshacerse de los residuos; además, dotar a todos los puertos y terminales de carga con las instalaciones adecuadas requeriría un desembolso considerable; *ii*) la utilización de petroleros con depósitos de lastre independientes; esto evitaría la mezcla del agua de lastrado con el petróleo residual y no se producirían vertidos contaminantes al deslastrar, pero el tamaño de los buques sería mayor que el de otros corrientes de igual capacidad; *iii*) limpieza de tanques sin utilizar agua; en este caso se limpian los depósitos mediante pulverizaciones de petróleo crudo, seguidas de un enjuague con un producto petrolífero ligero como nafta; las sustancias utilizadas para la limpieza de los tanques se mezclan con el resto de petróleo descargándolas con él.

c) Prevención de accidentes.

Otro de los objetivos prioritarios de las compañías petrolíferas, tendente a evitar o reducir la contaminación de los mares es la prevención de accidentes y, en especial, las consecuencias de posibles colisiones y encalladuras. La estructura y diseño de los petroleros se está modificando para reducir el riesgo de derrames en caso de accidente. Los sistemas de doble pared y doble fondo están siendo estudiados por las compañías petrolíferas y los gobiernos como una medida para prevenir la contaminación.

La doble pared en los puntos de posible colisión podría reducir la probabilidad y la magnitud de los derrames de petróleo en caso de choque. El doble fondo garantiza la reducción, y en algunos casos la eliminación, de derrames originados por encalladura. Sin embargo, al igual que los petroleros con tanques de lastre independientes, los de doble casco serían más grandes y costosos que los corrientes de igual capacidad. La IMCO, con el fin de reducir el volumen de los derrames y escapes de petróleo en caso de colisión o encalladura, recomienda limitar el tamaño de los depósitos de carga. Esta recomendación ha dado como resultado la limitación en volumen de los tanques de los petroleros gigantes, que ha quedado fijado en 30.000 m³ para cada tanque, desde primero de enero de 1972.

El aumento de tamaño de los petroleros también equivale a cubrir las necesidades con menor número de buques. Esto trae consigo una descongestión del tráfico marítimo y una reducción de los riesgos de accidente. Aunque estos petroleros más grandes necesitan más espacio para maniobrar que los pequeños, pueden en cambio cargar y descargar en campos de boyas próximos a las costas, donde el tráfico y los riesgos son menores que en los puertos convencionales.

A pesar de que nadie ignora las consecuencias perjudiciales que podrían derivarse de un accidente grave de un petrolero gigante cargado a tope, que es una bomba ecológica en potencia, la realidad es que la presencia de dichos buques reduce la probabilidad de accidentes individuales.

Otros medios de fundamental importancia para reducir el riesgo de encalladuras, colisiones u otros accidentes son: un mejor adiestramiento de las tripulaciones, el perfeccionamiento de las técnicas operativas, la mejora de los equipos de navegación y un control más riguroso del tráfico marítimo. El radar en los buques y en los puertos constituye una ayuda de valor incalculable para evitar colisiones y encalladuras. Actualmente se está poniendo a punto un nuevo sistema de control: el dataradar que consiste en un ordenador, adecuadamente programado, que va conectado con el equipo de radar del

barco. El dataradar permite seguir a doce barcos a un tiempo, indicando sus posiciones, velocidades y demoras. Automáticamente el operador puede proyectar los movimientos futuros de las naves en la pantalla, con lo que, de un vistazo se conoce la posición que ocuparán los buques en un momento dado.

La medida de seguridad más importante adoptada hasta el momento ha sido la circulación voluntaria de buques por vías de una sola dirección. En la actualidad existen unas setenta de esas vías. En su asamblea celebrada últimamente en Londres, a la que concurrieron 73 naciones, la IMCO decretó la obligatoriedad de las vías de una sólo dirección, mediante la incorporación de una nueva cláusula a un tratado internacional existente.

A pesar de toda la nueva tecnología aplicada a la prevención de accidentes, las autoridades marítimas están de acuerdo en que deben tomarse medidas muy serias, encaminadas a mejorar y garantizar la instrucción y competencia profesional de la oficialidad de los petroleros, recomendando la implantación de tribunales marítimos y la exigencia de títulos profesionales.

2. — *Medidas a adoptar en el caso de que se produzcan derrames de petróleo.*

Cuando se produce un derrame se adoptan medidas inmediatas para cortar la salida de petróleo, seguidas de otras para evitar que la mancha se extienda. A continuación se procede a la recogida del petróleo. Si las condiciones atmosféricas u otras razones impidiesen la recogida, se debe proceder al hundimiento y dispersión del petróleo o a quemarlo, siempre que las ordenanzas locales lo permitan. Por supuesto que la contención y recogida tienen carácter prioritario, por lo que debe existir equipo para esta emergencia en los puertos petroleros. Dicho equipo debe estar formado por una gran variedad de cercos de contención de petróleo, de colectores mecánicos, de embarcaciones equipadas con dispositivos adecuados para lanzar detergentes, etc. Aunque la mayor parte de estos métodos no pueden aplicarse con mar gruesa, están en estudio nuevos equipos para poder hacer frente a cualquier accidente que sobrevenga en condiciones meteorológicas adversas.

Durante los últimos años, las compañías petrolíferas han formado un número creciente de cooperativas para combatir los derrames. Estas cooperativas mantienen un stock común de instrumentos de emergencia para la remoción de petróleo, tales como barreras, espumaderas y bombas de trasiego.

3. — *Precauciones en refinerías y plantas petroquímicas.*

Como se ha indicado anteriormente, las refinerías y plantas petroquímicas pueden ser fuente de contaminación de aguas, bien como consecuencia de las operaciones de carga y descarga en el mar, bien por posibles filtraciones o descarga de desechos industriales o de aguas residuales.

Las medidas adoptadas para prevenir, remediar, o evitar derrames en las operaciones de carga y descarga, son análogas a las descritas para la solución de derrames en alta mar. Cada refinería dispone de un equipo de personal bien entrenado y de material adecuado.

A efectos de tratar los desechos industriales que contengan petróleo, las modernas instalaciones suelen estar provistas de equipos separadores que recuperan hasta el 98% del petróleo contenido en las aguas de desecho. Estos separadores, además de recuperar el petróleo, hacen posible que estas aguas se puedan verter al mar prácticamente limpias. Lo mismo ocurre con las instalaciones para el tratamiento de aguas residuales.

Para prevenir filtraciones, los depósitos o tanques de almacenamiento de crudo o subproductos van rodeados de zanjas de seguridad recubiertas de una película de plástico resistente al petróleo. Varios pozos de inspección, instalados en diferentes puntos de la planta, permiten examinar periódicamente las muestras de agua del subsuelo para determinar su calidad.

Una de las soluciones adoptadas recientemente para combatir la contaminación por aguas residuales efluentes, ha sido la de disminuir al máximo el caudal de las mismas. En el pasado se hacían circular grandes volúmenes de agua a través de las instalaciones de las refinerías o plantas petroquímicas a efectos de refrigeración, devolviéndose después ese agua a su lugar de origen, después de someterla al tratamiento adecuado. Hoy día toda el agua de refrigeración se recircula, rebajando previamente su temperatura en torres de enfriamiento de agua. Esto ha supuesto una reducción de casi el 90% en las aguas efluentes de las más modernas instalaciones.

Otro sistema que se está montando en muchas refinerías para el tratamiento de aguas residuales es el conocido con el nombre de "oxidación biológica", en el que ciertos microorganismos destruyen la materia orgánica. La oxidación tiene lugar en dos balsas, en las que unas paletas rotativas introducen en el interior del agua el oxígeno necesario para que sobrevivan los citados microorganismos. El agua residual, después de atravesar separadores y filtros, se pasa a dichas balsas, donde los compuestos orgánicos que lleva consigo son

oxidados a CO_2 y agua. El efluente se pasa después por unos depósitos de asentamiento o balsas de sedimentación, donde los microorganismos citados se van al fondo, y de allí son reciclados pasando de nuevo a las balsas de oxidación.

INVESTIGACIÓN, ORGANIZACIONES Y ACUERDOS PARA LIMITAR O REDUCIR LA CONTAMINACIÓN DEL MAR POR PETRÓLEO.

El Instituto Americano del Petróleo lleva a cabo extensos programas de investigación aplicada para desarrollar nuevos y mejores métodos encaminados a la limpieza de derrames de petróleo. Entre sus proyectos figuran el diseño de nuevos sistemas y equipos, y el estudio de agentes químicos que permitan resolver de un modo aún más efectivo todo tipo de derrames.

Los investigadores de las grandes compañías están intentando encontrar agentes químicos para dispersar o solidificar el petróleo que produzcan, a la vez, el menor efecto tóxico posible. Cabe citar como ejemplo el dispersante conocido con el nombre de corexit, puesto a punto y utilizado con éxito por el personal del grupo ESSO.

El carácter internacional del transporte del petróleo y de los intentos para controlar la contaminación marina se refleja en la serie de conferencias y simposiums celebrados en las últimas décadas y los acuerdos tomados en ellos, que se resumen a continuación.

En 1926, la Conferencia Internacional de Contaminación por petróleo aconsejó que se prohibiese verter, desde los buques, residuos cuyo contenido en petróleo fuera superior a 500 ppm., dentro de las aguas territoriales de cualquier país.

En 1954 se celebró la Convención Internacional para Prevenir la Contaminación del Mar por Petróleo. En ella se estableció oficialmente el límite para arrojar petróleo en 50 millas de la costa, creando además zonas prohibidas para todo vertido, como el Mar del Norte. Asimismo se redujo a 100 ppm. el contenido en petróleo de los vertidos que se arrojaran en las aguas territoriales. Este acuerdo fue ratificado por cerca de cincuenta potencias marítimas y su cumplimiento supervisado por la IMCO, organización a la que se ha aludido anteriormente.

En la Conferencia de Ginebra sobre el Derecho del Mar, celebrada en 1958, volvió a ponerse sobre el tapete la responsabilidad de cada Estado en particular, si bien con un compromiso internacional. Los principios elaborados por la Comisión de Derecho Internacional, establecieron que todo Estado se obligaba a dictar reglas que evitaran la contaminación de los mares por hidrocarburos vertidos desde petroleros, o resultantes de la explotación del suelo marino.

En 1962 se modificó la convención de 1954 para ampliar aún más las zonas prohibidas, así como para prohibir el vertido de aguas con un contenido en petróleo superior a 100 ppm en cualquier zona marítima, en el caso de los petroleros de más de 30.000 t.p.m. que se contratasen a partir de mayo de 1967. Poco después de ésta convención, las compañías petrolíferas más importantes adoptaron el "Programa de Mares Limpios" y la técnica de "carga encima", antes descrita.

En 1969, la IMCO aprobó nuevas enmiendas a la Convención de 1954. Estas enmiendas establecieron tres nuevas limitaciones: a) el contenido en petróleo del agua vertida dentro del límite de 50 millas de la costa se reducirá a una cantidad cuyo brillo en la superficie no sea perceptible en los días claros con mar calma; b) los vertidos en cualquier otra zona del mar se limitan a un ritmo de 60 litros por milla recorrida, para los buques en viaje; c) se fija el volumen máximo de vertido de petróleo por viaje en 1/15.000 del tonelaje de peso muerto del buque.

Finalmente, en la Conferencia sobre el Medio Ambiente reunida en Estocolmo en junio de 1973, se propuso la celebración de una Convención Internacional antes de 1975, para prohibir todo vertido de hidrocarburos en las aguas del mar. Es una nueva etapa a la que se ha de dar un voto de confianza mientras no se demuestre lo contrario.

Como respuesta a la necesidad de encontrar un mecanismo formal a través del cual fuera posible cooperar con la IMCO y otros organismos estatales, en abril de 1970, las 18 compañías petrolíferas más importantes crearon una organización denominada OCIMF "Forum Marítimo Internacional de Compañías Petrolíferas". Sus representantes asisten a las reuniones de IMCO, aunque carecen de voto. Esta organización cuenta actualmente con 40 miembros que representan el 85% del petróleo que se transporta por mar.

En los últimos años, las compañías petrolíferas han concertado dos acuerdos de gran importancia sobre la contaminación marina y la responsabilidad de la misma. Estos acuerdos son conocidos por las siglas de sus iniciales y se denominan TOVALOP y CRISTAL. Su objetivo fundamental es garantizar una indemnización justa y rápida a los gobiernos y particulares, de cualquier lugar del mundo, que sufran perjuicios como consecuencia de la contaminación ocasionada por petroleros.

CONCLUSIONES

De todo lo tratado se pueden deducir las siguientes conclusiones:

1. La ecología, tanto terrestre como marina, debe ser protegida.

2. La contaminación de los mares constituye un motivo de grave preocupación en todo el mundo, considerándose las operaciones de la industria del petróleo como una de las causas principales de la presencia del petróleo en el mar.
3. La contaminación de los mares resulta como mínimo antiestética e incómoda. Como máximo supone una amenaza para la ecología marina.
4. Con independencia de lo que pueden revelar los estudios que se están realizando acerca de los efectos del petróleo en el mar, la contaminación marina constituye un motivo de justificada inquietud para todo el mundo, y una preocupación de enorme importancia para las compañías petrolíferas.
5. Con cinco millones de toneladas de petróleo transportándose diariamente a través de los mares de todo el mundo, el riesgo de contaminación es muy grande, y el volumen de petróleo que se vierte al mar es todavía demasiado elevado.
6. Aunque las grandes compañías y los gobiernos han realizado últimamente un notable progreso en el control de vertidos de petróleo al mar, se requieren esfuerzos aún mayores para hacer frente al problema planteado por la expansión del tráfico petrolífero.
7. Con el perfeccionamiento del sistema de "carga encima", diseños más modernos de los buques, nuevos equipos de descarga, métodos de operación más perfectos y el esfuerzo conjunto de compañías, gobiernos y organismos internacionales, puede reducirse considerablemente la contaminación del mar por petróleo.

B I B L I O G R A F I A

- (1) "Tankers and Ecology". Noviembre de 1971
- (2) Symposium sobre contaminación marina por petróleo, celebrado en marzo de 1974 en Gaithersborg (EE. UU.).
- (3) "Chemical Engineering News", 10 de junio de 1974.
- (4) BEYCHOCK, M. R. "Aqueous Wastes from Petroleum and Petrochemical Plants". John Wiley. N. Y. (1967).

Para la elaboración de este trabajo se han consultado varios fascículos publicados por la empresa EXON.