

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval

Trabajo Fin de Grado

Innovaciones tecnológicas en el ámbito de la lucha
contra la contaminación por hidrocarburos

Presentado por:

Pablo Cruz Fernández

Director: Santiago José Rodríguez Sánchez

Presentado en Julio de 2017

Dr. D. Santiago José Rodríguez Sánchez y Dr. D. Federico Padrón Martín Profesor Asociado y Ayudante de Doctor de la UDE de Ingeniería Marítima del Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna, certifica que:

D. Pablo Cruz Fernández, alumno que ha superado las asignaturas de los cuatro primeros cursos del Grado de Tecnologías Marinas, ha realizado bajo mi dirección el Trabajo Fin de Grado denominado “Innovaciones tecnológicas en el ámbito de la lucha contra la contaminación por hidrocarburos” para la Obtención del Título de Graduado en Tecnologías Marinas por la Universidad de La Laguna.

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el Tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente certificado en Santa Cruz de Tenerife a 10 de Julio de 2017.

Santiago José Rodríguez Sánchez

Federico Padrón Martín

Director del Trabajo Fin de Grado

Agradecimientos

Quiero agradecerle a mi tutor Santiago los consejos y la ayuda recibida a lo largo de la creación de este trabajo; así como haberme ofrecido las prácticas profesionales en el B/S Punta Mayor, donde pasé dos meses embarcado aprendiendo y disfrutando; rodeado de una gran tripulación a los que me será muy difícil olvidar.

A mis padres y a mi hermano, quienes son los responsables de que hoy esté realizando este trabajo para finalizar mi carrera. Siempre han estado a mi lado y son mi ejemplo a seguir en la vida. También al resto de mi familia y en especial a mi abuela, quien ha podido ver como su nieto empezaba y finalizaba sus estudios y que seguro, se sentirá orgullosa de mí.

A Mar, que siempre ha estado apoyándome, regalándome optimismo y dándome entereza en los momentos más duros. Sin ella, posiblemente esta etapa me habría costado el doble así que, gracias por estar ahí siempre.

Índice

Agradecimientos	4
Índice	8
Índice de imágenes	14
Índice de tablas	15
I. Introducción	16
Abstract	18
II. Objetivos	20
2.1. General	22
2.2. Específicos	22
III. Antecedentes	24
3.1. MARPOL 73/78; Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques.	29
3.1. Efectos medioambientales y socioeconómicos.....	30
3.2. Cuatro derrames más graves de la historia.	31
3.2.1. Plataforma IXTOC I.	31
3.2.2. Deepwater Horizon.....	33
3.2.3. Exxon Valdez.....	34
3.2.4. Prestige	36
3.3. Los Hidrocarburos	37
3.3.1. Petróleo crudo.	38
3.4. Procesos naturales que afectan al hidrocarburo	39
3.4.1. Evaporación.	39
3.4.2. Esparcimiento.	39
3.4.3. Disolución.....	40
3.4.4. Oxidación.....	41
3.4.5. Emulsificación.....	41
3.4.6. Sedimentación.....	41

3.4.7.	Dispersión.....	42
3.4.8.	Biodegradación.....	42
3.5.	Movimiento de las machas de hidrocarburos.....	42
3.6.	Observación de las zonas del derrame.....	43
3.6.1.	Vigilancia aérea.....	43
3.7.	Métodos de búsqueda.....	46
3.8.	Planes de contingencia.....	46
3.8.1.	Estructuración de un plan de contingencia.....	47
3.8.2.	Criterios para la activación de un plan de contingencia.....	48
3.9.	Contención de los hidrocarburos.....	49
3.9.1.	Barreras mecánicas.....	50
1.	Barreras de valla.....	50
2.	Barreras de valla con órgano de tracción externo.....	51
3.	Barreras de cortina.....	52
3.1	Flotador macizo plano.....	52
3.2.	Flotador sólido cilíndrico.....	52
3.9.2.	Barreras neumáticas.....	53
1.	Barreras de flotación inflables a presión.....	53
2.	Barreras de flotación autoinflables.....	53
3.	Barreras de sellado con el litoral.....	55
3.9.3.	Otros tipos de barreras.....	55
1.	Barreras neumáticas de fondo.....	55
2.	Barreras resistentes al fuego.....	56
3.9.4.	Métodos de despliegue.....	56
1.	Barreras fondeadas.....	56

1.1.	Círculo	57
1.2.	Intercepción con barreras fondeadas	57
1.3.	Desviación	58
1.4.	Contención en flujo libre	58
1.5.	Configuración múltiple.....	58
2.	Barreras remolcadas.....	59
2.1.	Limpieza con una embarcación.....	59
2.2.	Limpieza con dos embarcaciones.....	59
2.3.	Limpieza con tres embarcaciones.....	60
3.9.5.	Tipos de conexiones	60
3.10.	Recuperación de los vertidos de hidrocarburos.....	62
3.10.1.	Skimmers	62
	Skimmer de succión/aspiración.....	62
	Skimmer de vertedero	63
	Skimmer oleofílicos.....	64
3.10.2.	Embarcaciones de recogida	64
3.10.3.	Medios manuales y mecánicos	65
3.10.4.	Tangones.....	66
3.10.5.	Sorbentes.....	66
	Composición.....	67
	Aplicación.....	67
	Ventajas y desventajas de la utilización de sorbentes.....	68
3.11.	Dispersantes.....	68
	Tipos.....	69
	Aplicación.....	69
3.12.	Incineración controlada de derrames.....	70

Desarrollo de la operación.....	70
Ventajas e inconvenientes.....	71
IV. Material y método.....	72
4.1. Row-Bot. El robot que se come la contaminación.....	74
4.1.1. Diseño del Row-Bot.....	76
4.2. Método de separación magnética para vertidos de hidrocarburos.....	78
4.2.1. Mejora de separación magnética.....	79
4.3. Wave Glider® (Planeador de olas).....	81
V. Resultados.....	86
5.1. Resultados del Row-Bot.....	88
5.2. Resultado de la separación por magnetismo.....	89
5.2.1. Daño medioambiental.....	90
5.3. Resultados del Wave Glider®.....	90
5.3.1. Propiedades ópticas del agua de mar a través del WG y un satélite.....	90
5.3.2. Monitorización de la temperatura superficial del mar.....	91
VI. Conclusiones.....	94
Bibliografía.....	98

Índice de imágenes.

<i>Ilustración 1 Evolución de los petroleros.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 2 Contaminación por hidrocarburos</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 3 Incendio del IXTOC I.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 4 Incendio y vertido IXTOC I</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 5 Deepwater Horizon.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 6 Zonas afectadas.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 7 Exxon Valdez</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 8 Timeline de la recuperación de especies</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 9 Prestige escorado a estribor a causa de la vía</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 10 Gráfico del desplazamiento del Prestige</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 11 Voluntaria en la recogida de “Chapapote”.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 12 Procesos naturales.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 13 Viento y corriente en paralelo</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 14 Viento y corriente no paralelo</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 15 Dispersión en el agua</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 16 SASEMAR 101, modelo CN-235-300</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 17 Flota de aviones de SASEMA.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 18 Equipos electrónicos abordo.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 19 Helimer con rescatador</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 20 Guía para determinar el porcentaje de hidrocarburo</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 21 Barrera de contención</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 22 Partes de una barrera de contención.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 23 Fuente: ITOPF (International Tanker Owners Pollution Federation Limited)</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 24 Barra de tracción</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 25 Barrera en bobina</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 26 Barrera lastrada con pesos.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 27 Barrera autoinflable</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 28 Arrastre.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 29 Acumulación crítica</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 30 Fallo de drenaje.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 31 Escape por encima</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 32 Inmersión.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 33 Pérdida de verticalidad.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 34 Barrera de sellado</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 35 Funcionamiento de una barrera neumática de fondo.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 36 Barreras ignífugas</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 37 Barrera en círculo.....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 38 Intercepción del vertido mediante dos series de barreras.....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 39 El hidrocarburo y las barreras se mueven a favor de la corriente</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 40 Buque recogiendo los vertidos</i>	<i>59</i>

Ilustración 41 Formación en "J" mediante dos embarcaciones	60
Ilustración 42 Formación en "V" y formación en "U"	60
Ilustración 43 Conexión ASTM	61
Ilustración 44 Conexión "Noruega"	61
Ilustración 45 skimmer portátil.....	63
Ilustración 46 Skimmer de vertedero	63
Ilustración 47 Skimmer de cepillos	64
Ilustración 48 Embarcación con barrera	65
Ilustración 49 Buque polivalente Clara Campoamor	65
Ilustración 50 Cazo hidráulico recogiendo hidrocarburo pesado	66
Ilustración 51 Tangón desplegado	66
Ilustración 52 Utilización de papeles absorbentes en un vertido cerca de la costa	67
Ilustración 53 Acción del dispersante.....	68
Ilustración 54 Helicóptero con sistema de rociado portátil de dispersantes	69
Ilustración 55 Buque descargando dispersante	69
Ilustración 56 Quema controlada de hidrocarburo	70
Ilustración 57 Contención de un vertido para su incineración	71
Ilustración 58 Corixidae o Barquerito	74
Ilustración 59 Diseño lateral del Row-Bot.....	76
Ilustración 60 Vista superior del Row-Bot.....	76
Ilustración 61 Vista de la sección de la célula de combustible microbiana (MFC)	77
Ilustración 62 Diseño de las aletas	77
Ilustración 63 Pruebas experimentales en el MIT	78
Ilustración 64 Aceite magnetizado.....	80
Ilustración 65 Esquema del sistema	81
Ilustración 66 El Wave Glider mueve las alas para impulsarse	83
Ilustración 67 Pruebas del Row-Bot	88
Ilustración 68 Muestra del comportamiento de la mezcla.....	90
Ilustración 69 Todos los datos fueron recogidos con el mismo sensor y expresados en términos de fluorescencia relativa	91
Ilustración 70 Comparación entre los datos de temepaturas aportados por el SST y el WG.....	93

Índice de tablas.

Tabla 1 Componentes del petróleo	38
Tabla 2 Componentes del petróleo crudo	38
Tabla 3 Características del Wave Glider.....	83

I. Introducción

La contaminación por hidrocarburos en nuestros océanos y mares es un riesgo latente, al que cada día estamos expuestos, no sólo los seres humanos, sino la flora y fauna que pueblan las aguas de nuestro planeta. A lo largo del tiempo han existido grandes amenazas como accidentes de petroleros y plataformas; pero no debemos de pensar en estas grandes catástrofes, que son desde luego, hechos que alarman a la población y que aparecen con grandes titulares en los medios de comunicación de medio mundo. También debemos de pensar que, en operaciones de carga y descarga, más los pequeños accidentes entre buques; se vierten alrededor de 12 millones de metros cúbicos al mar anualmente. Hechos alarmantes de los que no toda la población es consciente.

Existen métodos para la contención, la vigilancia y recogida de los vertidos de hidrocarburos en el mar, pero algunos de estos elementos, son gravosos económicamente y el despliegue de medios para realizar estas operaciones tienen un elevado coste material y personal; o no son lo suficientemente eficaces a causa de la meteorología e incluso en algunos casos, dañan notablemente el hábitat de la fauna o flora de la zona.

En la parte de “antecedentes” de este trabajo, se hablará de estos métodos que actualmente se usan; pero la finalidad de este trabajo realmente, es conocer algunas de las nuevas innovaciones tecnológicas en esta materia, que a fecha de hoy se estudian para luchar contra la contaminación de una forma sostenible y eficiente mediante sistemas autónomos dependientes del ser humano y que, además, logran evitar un daño irreparable al medioambiente.

Abstract.

Pollution due to hydrocarbons in our seas is a huge risk of which not only humans are exposed, but the flora and fauna of the entire planet. In the last century we have suffered climatic disasters like oil rig accidents or the breaking of a tanker's hull. These situations, of course, are terrible for the environment and attract the attention of the world and the media. But we should not only focus our concerns on the big impacts because it has been estimated that because of everyday operations in docks around the world, more than 12 millions cubic meters of oil are spilt into the ocean. These facts are unquestionably as disturbing as the big accidents but they are not known by the average citizen.

To fight ocean pollution and minimise the damage, engineers have come with systems that restrain, control and collect the dumping of hydrocarbons into the sea. However, many of these systems are very expensive, have a complex methodology and its efficacy depends too much on weather or tide conditions. Furthermore, they can even damage the ecosystem of the working area.

In the chapter "Antecedentes" , I will discuss about the most used methods and the advantages and disadvantages of each one. Nevertheless, the main goal of this Project is to analyse the new systems and innovations that are being developed that not only fight the pollution after an accident but also have sustainability and protection of the environment as a fundamental factor in its design.

II. Objetivos

2.1. General

El objetivo general que se plantea en este trabajo es poder dar una visión amplia de los medios que existen en la actualidad para la lucha contra la contaminación en mares y océanos; así como mostrar hacia donde nos dirigimos tecnológicamente para combatir este mal que nos afecta a todos.

2.2. Específicos

1. Exponer varios de los accidentes más graves en la historia junto con sus causas y consecuencias para el medioambiente y sus repercusiones socioeconómicas.
2. Determinar los distintos planes de contingencia que existen y los criterios que han de tomarse para activarlos.
3. Explicar los distintos métodos de localización, contención y recuperación.
4. Nombrar y explicar el funcionamiento de los distintos tipos de barreras y medios mecánicos de recogida que existen actualmente.
5. Mostrar varios equipos de innovación correspondientes a la lucha contra la contaminación.

III. Antecedentes

Si miramos a nuestro alrededor posiblemente la mayoría de los objetos que tengamos a la vista hayan sido fabricados con productos derivados del petróleo, por tanto, no es de extrañar que datos como que el 32% del transporte mundial se basa en el transporte de hidrocarburos o que 500 millones de toneladas anuales de crudo lleguen a Europa, además de 300 millones de productos refinados de este, nos resulten incluso normales hasta cierto punto.

En torno a 90 millones de barriles diarios son transportados alrededor del mundo por vía marítima, ya que, de forma contradictoria este crudo suele refinarse lejos de los lugares donde se obtiene y de ahí, la importancia del transporte y la gran financiación e inversión para la mejora del traslado.

Aunque no fue así siempre, pues, al comienzo de esta industria, cuando se comenzó a explotar este recurso, las refinerías se encontraban cerca de los yacimientos ahorrando en costes de transporte, pero a medida que fue aumentando la demanda se vio que era mejor construir las refinerías cerca de los países consumidores; así pues, Europa occidental necesita importar el 97% desde África y Oriente Medio.

Para hacernos una idea, los 10 países productores más importantes a nivel mundial según la *EIA* (Agencia Europea) son:

1. Rusia, con 10.840.0000 de barriles/día.
2. Arabia Saudita, con 9.735.000 de barriles/día.
3. Estados Unidos, con 8653.000 de barriles/día.
4. China, con 4.189.000 de barriles/día.
5. Canadá, con 3.890.000 de barriles/día.
6. Irán, con 3.614.000 de barriles/día.
7. Irak, con 3.368.000 de barriles/día.
8. Emiratos Árabes Unidos, con 2.619.000 de barriles/día.
9. Kuwait, con 2.619.000 de barriles/día.
10. Venezuela, con 2.5000.000 de barriles/día.

Teniendo estos datos sobre la mesa, podemos hacernos una idea del riesgo que supone que día a día, miles de toneladas de hidrocarburos, viajen en buques alrededor del planeta. Un riesgo al que están expuesto tanto el medioambiente como la sociedad. De ahí, que se realicen grandes esfuerzos conjuntos para evitar derrames de petróleo.

Las grandes empresas petrolíferas, así como otras vinculadas a la industria invierten grandes sumas de dinero para diseñar operaciones y emplear procedimientos que eviten derrames, además de mejorar la velocidad y eficiencia del transporte de crudo. La industria del petróleo incorpora y desarrolla constantemente nuevas investigaciones para mejorar la prevención de derrames, de esta forma es cierto que desde 1970 se ha logrado reducir por 10 el número de grandes vertidos en la mar.

Este dato nos puede tranquilizar en medida, pero lo cierto es que, a fecha de hoy, 12 millones de metros cúbicos de agua contaminada por hidrocarburos son vertidas a la mar y entre 666.000 y más de 2.5 millones de toneladas de hidrocarburos son expulsadas a los océanos; producidos por negligencias o limpiezas de tanques.

Datos curiosos sacados de la *Comisión al Parlamento Europeo y al Congreso sobre la Seguridad de los Comercios Petroleros Marítimos*, nos dicen que en el puerto principal de Europa (Rotterdam) solamente un 7% de los buques que atracan o que realizan operaciones comerciales entregan sus residuos oleosos a las instalaciones del puerto. Pero no es necesario irse muy lejos para ver la problemática de la situación ya que, en España, más concretamente en el tercer puerto de contenedores más importante de Europa (Algeciras), sólo el 25% de los residuos oleosos que le afectan por volumen de tráfico marítimo son recibidos en este.

En lo referente a los buques petroleros, a pesar de una notable renovación de toda la flota mundial, según datos de la *OMI*, (Organización Marítima Internacional) en el año 2004 sólo el 28% de los petroleros tenían 0 o 4 años de antigüedad ya que un 18.9% eran buques de más de 20 años y el 53.1% restante pertenecían a la clase de petroleros monocascos. El porcentaje de buques con 20 años o más, asciende en países de Europa del Este.

Los buques para cargar hidrocarburos han ido aumentando de tamaño a lo largo del tiempo; debiéndose esto a una mayor rentabilidad, ya que, cuanto mayor es el petrolero o el buque, menores serán los costes de fabricación por tonelaje, restando también costes de explotación y sumando el valor del flete del buque.

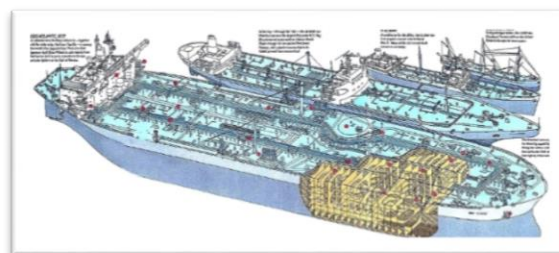


Ilustración 1 Evolución de los petroleros; Fuente: <http://www.histarmar.com.ar/InfGral/ULCC/A-comaracionx11.jpg>

Debemos de pensar que, aunque los petroleros de última construcción lleven doble casco, lo que quiere decir, con tanques de lastre o espacios vacíos en sí mismos, esto no quita para que no puedan ocurrir graves episodios de contaminación derivados de colisiones, explosiones o fuego; aunque como ya se dijo anteriormente, los casos más corrientes de contaminación son derivados de limpiezas de tanques que ocurre en innumerables casos, en los que los buques poseen gran antigüedad y no constan de tanques de lastre separado ni de decantación, y eso hace que las aguas contaminadas acaben en el mar.

Como ya hemos hablado páginas atrás, existen unas normas estrictas que se han ido introduciendo a lo largo de los años y una regulación para las operaciones de los petroleros como sucede en el MARPOL 73/78, es innegable que se seguirán produciendo vertidos de hidrocarburos en la mar. La mayoría de los derrames que se producen son a causa de operaciones de carga, descarga o mientras se efectúa el abastecimiento de los buques, estos se encuentran entre 7 y 700 toneladas, más de 700 toneladas suele ser cuando se produce algún tipo de abordaje o varada principalmente.

En estas infografías se pueden apreciar mejor las causas de contaminación por hidrocarburos:

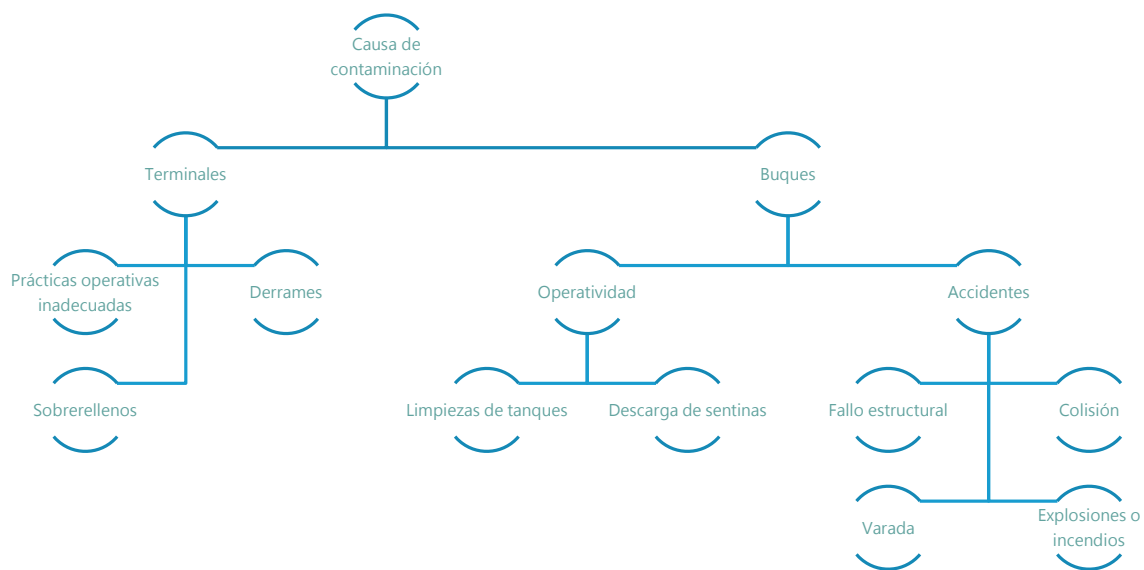


Ilustración 2 Contaminación por hidrocarburos

3.1. MARPOL 73/78; Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques.

El Convenio es un instrumento jurídico a nivel internacional para prevenir la contaminación del medioambiente a causa de los buques y fue aprobado por la OMI en 1973. En la misma conferencia donde se aprobó este convenio se aprobaron también dos Protocolos. Uno trata sobre las disposiciones para formular los informes de sucesos relacionados con sustancias perjudiciales; y el otro sobre el arbitraje de los métodos.

El Convenio es aplicable para los buques que enarboles pabellón de un Estado que haya firmado este Convenio, y los que poseen la autorización de un estado miembro. Evidentemente no se aplica a buques de guerra y a los que no presten servicios comerciales.

El Convenio MARPOL consta de 6 anexos:

Anexo 1. Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos.

- Capítulo 1: Generalidades.
- Capítulo 2: Normas para controlar la contaminación en condiciones de servicio.
- Capítulo 3: Normas para reducir la contaminación causada por petroleros que sufran daños en los costados o en el fondo.
- Capítulo 4: Prevención de la contaminación derivada de sucesos que entrañan contaminación por hidrocarburo.

Anexo 2. Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel.

Anexo 3. Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos.

Anexo 4. Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los tanques.

Anexo 5. Reglas para prevenir la contaminación por la basura de los buques.

Anexo 6. Prescripciones para el control de las emisiones de los buques.

Para controlar las descargas de hidrocarburos se consideran en el Convenio varias zonas que, por sus características ecológicas y oceanográficas, hacen que se adopten procedimientos especiales y obligatorios para prevenir la contaminación de estas áreas, estas zonas son:

Mar Mediterráneo	Agua Noroccidentales de Europa
Mar Báltico	Golfo de Adén
Mar Negro	Mar Rojo
Antártico	Golfos

Se prohíbe a todo buque realizar descargas de hidrocarburos o mezclas oleosas en el mar excepto en el caso de los buques petroleros, cuando estos se encuentre en ruta, no se encuentre en zonas especiales o que se encuentren a más de 50 millas de tierra, por ejemplo. En el caso de los buques no petroleros que estos mantengan en funcionamiento los equipos de filtrado de hidrocarburos y que estos excedan de 15 partes por millón sin diluir.

Se prohíbe también las descargas de aguas sucias, excepto cuando el buque descargue a más de 4 millas de distancia y más de 12, si no han sido desinfectadas o desmenuzadas. Además, el buque necesita poseer una instalación para tratamientos de estas aguas.

3.1. Efectos medioambientales y socioeconómicos.

Los daños que producen los vertidos a los ecosistemas son realmente catastróficos para la fauna y flora marina, estos no llegan a recuperarse antes de 3 años tras un derrame. La manera en que el petróleo y sus derivados afectan al medioambiente es variada. En la mejor de las situaciones posibles sólo 1 de cada cuatro aves que han sido contaminadas consiguen regresar a tierra muertas o vivas, el tercio restante acaban desapareciendo en el mar o terminan hundiéndose. Estos estudios elaborados en 1972 también indicaban que las aves que pasan la noche en el mar acaban siendo las más afectadas como es lógico. Se afirma también que incluso el ser humano tras la cadena alimenticia puede llegar a poseer ciertas dosis de contaminación importante, a pesar de que no presenten evidencias de contaminación, pero a la larga pueden generar en problemas serios de salud, ya que los hidrocarburos pueden llegar a degenerar nuestro código genético.

Varias sustancias químicas derivadas del petróleo se mantienen en la capa superficial del agua formando pequeñas burbujas de alquitrán o musgo flotante. Este petróleo llega a envolver el plumaje de las aves, en especial las que se sumergen para encontrar alimentos, pero no sólo en las aves ocurre esto, también en

cualquier mamífero como nutrias, focas o ballenas. Esta película que se adhiere a ellos y eliminan su capacidad de aislamiento térmico afecta a la flotación y hace que los animales lleguen a morir de frío o acaben hundiéndose y ahogándose en el mar.

La flora marina cerca de las costas también se ve profundamente dañada por los vertidos, ya que esta misma película impide el intercambio de oxígeno y desvía los rayos solares dificultando el proceso de fotosíntesis de la flora.

Las plantas que crecen en la arena o cerca de esta, acaban quemándose en contacto con el crudo, y los invertebrados al igual que los vertebrados, que habitan en la arena también acaban muriendo tarde o temprano. A priori sabemos que el petróleo tiene menor densidad que el agua, por tanto, el petróleo en las primeras fases del vertido se encuentra flotando en la superficie, pero al cabo del tiempo este comienza a descender hasta el lecho marino, afectando a la flora y la fauna que ahí coexiste.

Hablamos de problemas ecológicos pero este tema también repercute en gran medida a graves problemas económicos y sociales. La pesca es el sector más afectado por un derrame de petróleo, ya que, gran parte de las capturas están contaminadas en mayor o menor medida por sustancias nocivas derivadas de la ingesta accidental de petróleo. Además de esto, el turismo se resiente pues, las playas contaminadas no se vuelven a recuperar, al menos un año tras el vertido, eso en el mejor de los casos y cuando poseen la característica de tener corrientes y olas fuertes; Por el contrario, la recuperación puede tardar varios años. Las marismas y los estuarios difícilmente pueden limpiarse eficazmente.

3.2. Cuatro derrames más graves de la historia.

A lo largo de la historia, se han vertido por accidente miles de toneladas de crudo al mar, desde 1960 se han producido más de 130 vertidos de consideración grave en mares y ríos de todo el mundo, comenzando con el *Sinclair Petroleum* que derramó cerca de 66.528 toneladas cerca de las costas de Brasil, hasta 2010 cuando la plataforma petrolífera *Deepwater Horizon* vertió más de 467.000 toneladas de crudo.

3.2.1. Plataforma IXTOC I.

En 1979 ocurrió a 94 kilómetros de Ciudad del Carmen y a 965 kilómetros de Texas un reventón (*blowout*) en una de las plataformas de exploración de la empresa PEMEX; una empresa de explotación petrolífera del Estado Mexicano. PEMEX se encontraba perforando un pozo de 3.63 kilómetros de profundidad cuando se produjo un accidente que no pudieron solucionar. Estudios posteriores dictaminaron que se había

producido una explosión de gran presión, lo que hizo que, se perdiera la barrera y comenzara a circular lodo de perforación. Esto sumado a la pérdida de estabilidad produjo el reventón.



Ilustración 3 Incendio del IXTOC I; Fuente: <http://www.24-horas.mx/wp-content/uploads/2015/04/50401221.jpg>

Al accidente de IXTOC I se le atribuye la característica de haber sido el accidente petrolífero no internacional más importante de la historia, debido a su gravedad y su afectación al medioambiente marino de la zona.



Ilustración 4 Incendio y vertido IXTOC I; Fuente: http://www.generacion.com/noticia/imagenes/grandes/28_03_2012_10_18_25_164255242.jpg

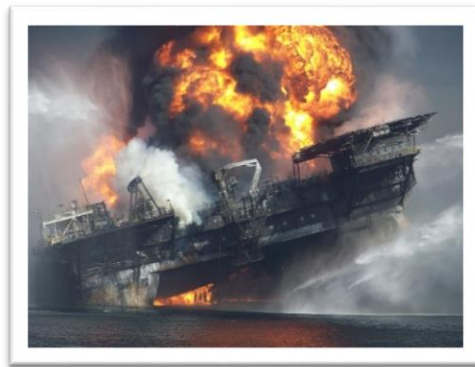
De forma continuada se produjeron 493 misiones de vuelos, donde cada avión llevaba dispersante que lanzaban desde el aire sobre la zona afectada, ayudando en parte a la dispersión del petróleo, pero lo que produjo esto fue que, el petróleo decantara y se fuera al fondo, dañando gravemente el lecho marino. También se utilizaron barreras contenedoras y la contratación de una empresa de buzos expertos en la materia, para intentar cerrar el pozo, lo cual no tuvo ningún éxito. Como recuento final, se usaron en las operaciones: 200 barcos, 12 aeronaves y 500 hombres.

Lo curioso de este accidente es que no hay gran información al respecto, no hubo monitorizaciones del suceso y todo se mantuvo en un ambiente de secretismo y la poca información que el gobierno daba, se

contradecía con lo que las empresas implicadas decían, incluso los medios de comunicación mexicanos se mantenían reservados en el tema para no causar problemas al gobierno.

3.2.2. Deepwater Horizon.

Cerca de 4.9 millones de barriles de petróleo fueron vertidos a 80 kilómetros de Luisiana en los Estados Unidos, generando efectos devastadores en el medioambiente. Esta explotación de petróleo llevada a cabo por la plataforma Deepwater Horizon de la compañía BP en el año 2010, fue la última catástrofe medioambiental de la historia de los vertidos.



*Ilustración 5 Deepwater Horizon; Fuente:
http://68.media.tumblr.com/c9fabaedf3ccf671699b4d65672b7f02/tumblr_n32uv3lcsA1snnhngo1_1280.jpg*

Ocurrió debido a una liberación de una bolsa de metano mientras se perforaba el pozo Macondo en una operación de exploración, generando una fuerte explosión que daría como resultado un intenso fuego que duró alrededor de 36 horas. Tras ese periodo de tiempo, la plataforma comenzó a hundirse.

Mientras comenzaba a fluir el petróleo a la superficie empezando así el derrame, la compañía PB implicada en el suceso, inyectó cerca de 19 mil barriles de productos químicos para dispersar el petróleo, así mismo roció sobre la mancha emergente cerca de 34 mil barriles más, sobre la superficie del mar para de alguna forma disminuir el impacto sobre el Golfo de México. También se creía que a cuanto más profundidad se iniciara la perforación, en caso de accidente, se tendría más tiempo para intervenir mientras ascendiera el petróleo a la superficie.



Ilustración 6 Zonas afectadas; Fuente: http://msbusiness.com/files/2012/11/SkyTruth_cumulative_BP_spill_16jul10_rgb.jpg

Las consecuencias medioambientales más significativas además de las pérdidas económicas en el sector de la pesca, muchos ecosistemas se vieron afectados por los derrames. Muchas especies y en especial el marisco fueron afectados por la contaminación, ya que estos crustáceos y moluscos absorben el petróleo. Como consecuencia, se vio mermada su población y ya no sólo eso, tras varios años, aún estas especies pueden contener pequeñas cantidades de hidrocarburo, lo que pone en riesgo para la salud pública debido a su ingesta.

3.2.3. Exxon Valdez

En 1989 el buque petrolero tipo VLCC de 300 metros de eslora portaba en su interior 41 millones de litros de crudo, este crudo debía ser transportado desde Alaska hasta California. Este buque encalló el 24 de marzo en la bahía del Príncipe Guillermo (Prince Williams Sound) en las costas de Alaska, cuando el buque se salió del pasillo de navegación para poder esquivar varios icebergs.



Ilustración 7 Exxon Valdez; Fuente: <http://universomarino.com/wp-content/uploads/2011/06/exxon-valdez.jpg>

Las causas del accidente se debieron a la falta y deuda de sueño de varios de sus oficiales de puente que se encontraban en esa guardia tras pasar más de 12 horas sin descansar. El buque se encontraba en piloto automático cuando el práctico dejó la nave tras salir del puerto de Valdez. El tercer oficial no advirtió que

aún estaba el piloto automático cuando giro el timón, cosa que no tuvo efecto ninguno. El cerebro del oficial no se dio cuenta del peligro inminente a pesar de que varios vigías se lo advertían de que se estaba acercando al arrecife *Bligh Reef*. Cuando se dio cuenta de que el piloto automático estaba conectado ya era demasiado tarde.

Los vertidos (cerca de 40.9 millones de litros) se produjeron en un lugar aislado de difícil acceso, ya que sólo se podía acceder por medio de helicópteros o de embarcaciones. Aproximadamente se vieron afectadas 2.000 kilómetros de costa. En esas zonas afectadas existía una gran diversidad de fauna y de flora, muy rica a causa del aislamiento y lo salvaje del lugar. Así pues, miles de especies acuáticas se vieron afectadas por los vertidos, que a fecha de hoy varias de ellas no han podido recuperarse.

Los métodos que se llevaron a cabo para la limpieza fueron muy variados. Por un lado, desde el aire se vertieron sobre los derrames varios miles de litros de dispersantes químicos con la intención de mitigar las consecuencias, pero fue discontinuo debido a la escasa acción de onda para mezclar el dispersante. Por otro lado, se usaron Skimmers y bombas extractoras para recoger los vertidos, pero muchos de estos medios mecánicos se atascaban a causa de las algas marinas.

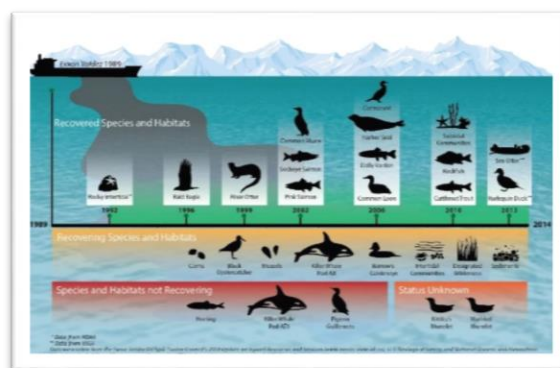


Ilustración 8 Timeline de la recuperación de especies; Fuente: <http://universomarino.com/wp-content/uploads/2011/06/exxon-valdez.jpg>

A raíz de este incidente el Gobierno de los EE.UU. creó la Ley Sobre la Contaminación por Hidrocarburos, que consistía en varias leyes para afrontar futuros desastres sobre el tema. Así, por ejemplo, se hacía obligatorio que los petroleros de nueva generación se construyeran con doble casco. También aumentaron las sanciones por derrames de hidrocarburos y la creación de planes frente a peligros de derrames por parte de las empresas petroleras.

3.2.4. Prestige

El Prestige era un buque petrolero de 243,5 metros de eslora que portaba 77.000 toneladas de Fuel; un Fuel muy pesado. Su trayecto comprendía de Letonia a Gibraltar, bordeando las costas gallegas. El mal tiempo por esa zona y la antigüedad del barco, sumado a que no pasaba una inspección técnica desde 1999, siendo el año del suceso 2002, hizo que se produjera una brecha de aproximadamente 40 metros en el casco del barco. El Prestige ha sido el peor desastre medioambiental en la historia de España.



Ilustración 9 Prestige escorado a estribor a causa de la vía; Fuente: <http://www.caminodosfaros.com>

Antes de que el buque se partiera a la mitad, ya había contaminado a gran parte de las zonas de costa gallegas, poniendo en marcha un dispositivo de limpieza de costas a cargo del ejército, los cuales iban sin equipo de protección para una catástrofe así; no llevaban máscaras, ni gafas, ni guantes para protegerse de la toxicidad del petróleo.



Ilustración 10 Gráfico del desplazamiento del Prestige; Fuente: <http://1.bp.blogspot.com/-fAH-erYMVP0/VD-IWtcZNfi/AAAAAAAAACtG/gSzDVYN-xgo/s1600/prestige-grafico1.jpg>

El buque, con todos los problemas estructurales que ya poseía, a casusa de la tormenta y las grietas del casco, estuvo divagando por el mar cerca de una semana lo que hizo que al séptimo día se partiera por la

mitad. Algo que aun hoy, muchos se siguen preguntando por qué el Gobierno obligó al buque a realizar esa odisea.

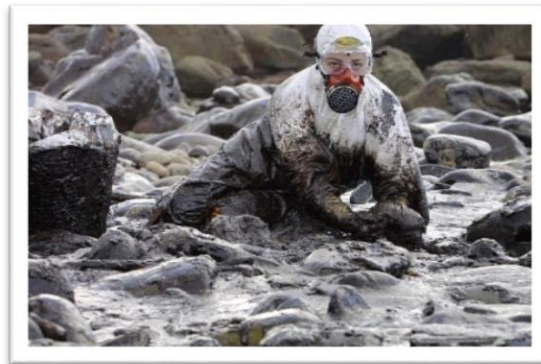


Ilustración 11 Voluntaria en la recogida de "Chapapote" ; Fuente: <https://prestige.lavozdegalicia.es/wp-content/uploads/2012/11/C08E3015.jpg>

La marea negra afectó a toda la vida marina de la zona de una forma atroz. Afectó desde el plancton de la zona hasta a las aves, además muchas personas se vieron afectada por el "chapapote" como se le llamó en la zona al crudo vertido por el buque. Tuvieron que pasar cerca de cuatro años para que los ecosistemas implicados comenzaran a recuperarse. Pero es ahora cuando se comienzan a ver los efectos que los vertidos produjeron en la fauna y en la flora.

3.3. Los Hidrocarburos

Existen varias teorías referentes a la formación del petróleo, pero se suele admitir que los hidrocarburos naturales (petróleos y gases naturales) se forman fruto de la alteración de residuos orgánicos que han sufrido una transformación bioquímica.

Los hidrocarburos están compuestos por sustancias orgánicas complejas de carbono e hidrógeno, mezclado en diferentes proporciones entre sí, además de otros elementos químicos. La materia orgánica en unas determinadas condiciones de presión y temperatura, reaccionan desprendiendo oxígeno, nitrógeno y azufre formando parte de las sustancias volátiles de los hidrocarburos.

En estado natural nos podemos encontrar con tres tipos de hidrocarburos como el gas natural, petróleo crudo líquido y como arenas asfálticas o pizarras bituminosas.

3.3.1. *Petróleo crudo.*

El petróleo crudo es una mezcla de hidrocarburos líquidos que se encuentra normalmente con gas natural. Varía mucho en su composición, pero se considera que contiene un 83 y 86% de carbono y entre 11 y 13% de hidrógeno, estos porcentajes dependen de la antigüedad del petróleo y de su zona de extracción.

<i>Elementos</i>	<i>Rango %</i>	<i>Típico %</i>
Carbono	85 – 95	85
Hidrógeno	5 – 15	13
Azufre	< 5	1,3
Oxígeno	< 2	0,5
Nitrógeno	< 0,9	0,5
Metales	< 0,1	

Tabla 1 Componentes del petróleo

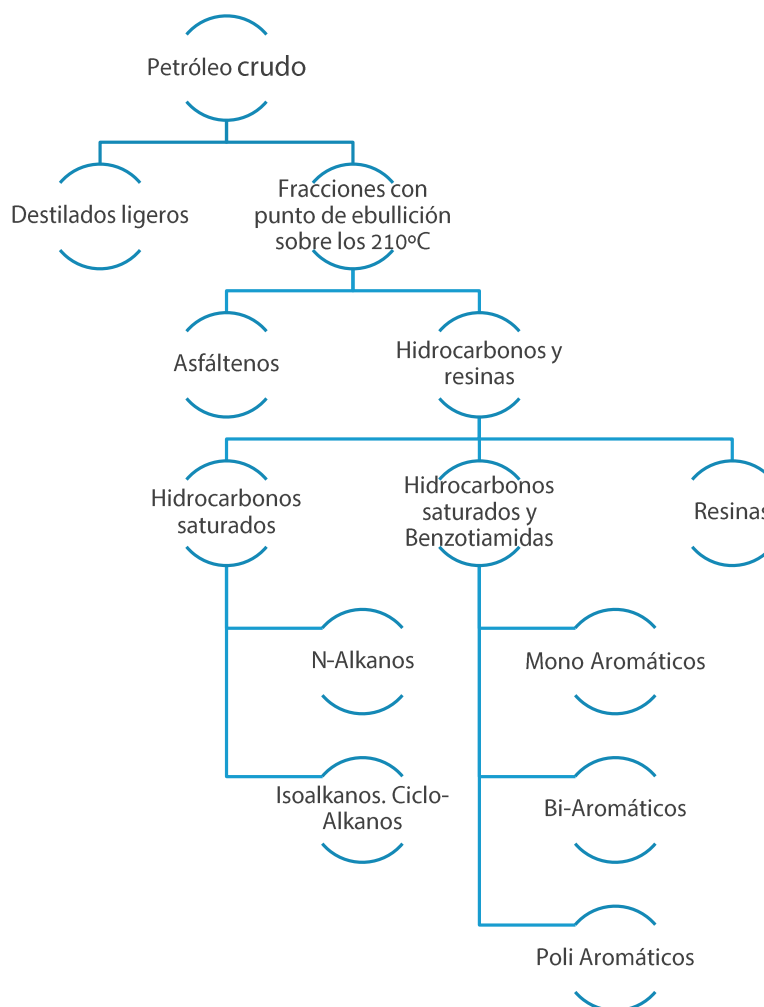


Tabla 2 Componentes del petróleo crudo; Fuente: Petroleum Formation Occurrence

3.4. Procesos naturales que afectan al hidrocarburo.

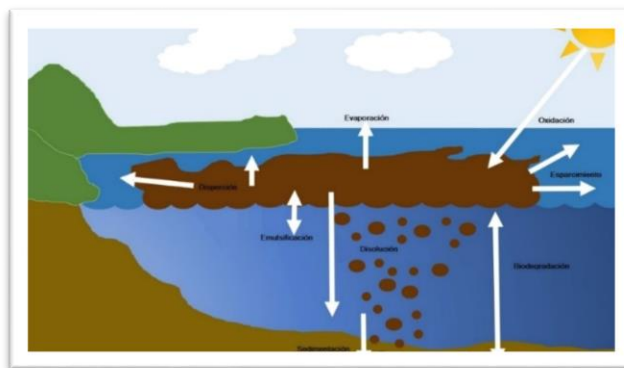


Ilustración 12 Procesos naturales; Fuente: <http://www.ipl.co.nz/Weathering%20Processes.jpg>

A la hora de planificar la lucha contra la contaminación existen varios factores a tener en cuenta. A continuación, se explicarán los más importantes:

3.4.1. Evaporación.

Este proceso es el más importante a la hora de valorar el desarrollo de un vertido de hidrocarburo, ya que este, con el tiempo cambiará su composición haciéndose más viscoso, denso y viene determinado por la volatilidad del hidrocarburo derramado. El factor de evaporación aumentará al crecer la proporción de componentes con puntos bajos de ebullición.

La evaporación dependerá de dos factores importantes:

- Factores del hidrocarburo en sí: área en que se haya derramado el vertido, tensión de vapor, tasa de esparcimiento y grosor del derrame.
- Factores ambientales: Estado en la que está la mar y su temperatura, temperatura del ambiente y la incidencia del sol sobre el vertido.

Según estudios, cerca del 50% del petróleo crudo vertido es capaz de evaporarse en 24 y 48 horas. El porcentaje varía dependiendo del tipo de hidrocarburo que se trate, siendo un 10% para el fuel-oíl pesado y hasta un 75% para productos como la gasolina, el queroseno o para el fuel-oíl liviano.

3.4.2. Esparcimiento.

El esparcimiento o propagación de un derrame de vertidos de hidrocarburos es la forma más rápida e importante en el momento del vertido. Este factor depende en gran medida de la cantidad de hidrocarburo

vertido, la viscosidad y punto de fluidez. Tras el derrame, los hidrocarburos empiezan a expandirse crenado una mancha uniforme y de color oscuro. Una vez se produzca el derrame se debe considerar el tamaño de la mancha para saber el volumen del vertido.

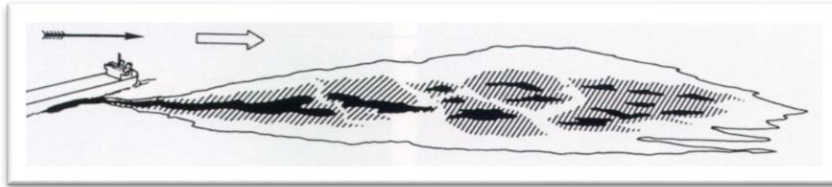


Ilustración 13 Viento y corriente en paralelo; Fuente: SASEMAR



Ilustración 14 Viento y corriente no paralelo; Fuente: SASEMAR

Salvo en pequeños vertidos de hidrocarburos de gran viscosidad, el esparcimiento no se efectúa de una forma similar, y existen variaciones significativas en el espesor de los hidrocarburos dentro de la misma mancha. El esparcimiento de esta es muy rápido y suele alcanzar con rapidez un grosor de 0,1 mm, con una apariencia de color negro o marrón.

3.4.3. Disolución.

La disolución es la acción de separar las partículas o moléculas del hidrocarburo y diluirse en el volumen de agua. Los componentes pesados del hidrocarburo son prácticamente insolubles en el agua. El grado de disolución es raro que alcance una parte por millón y depende de:

- Composición del hidrocarburo.
- Grado de dispersión.
- Turbulencias.
- Temperatura de la mar.
- Estado de la mar.

3.4.4. *Oxidación.*

Es la capacidad que tiene un cuerpo para transformarse gracias a la acción del oxígeno. Esto quiere decir, que cuando el petróleo se agrega con el oxígeno de la atmósfera se produce un fenómeno de "envejecimiento" que contribuirá a la degradación del petróleo derramado.

La oxidación produce compuestos más fáciles de disolver en el agua debido a la:

- Agitación de las aguas.
- Presencia de sales minerales en el agua.
- Presencia de metales.
- Radiación solar, que llegar a producir un 1% diario en la degradación del hidrocarburo vertido, gracias a los rayos ultravioletas.
- Presencia de compuestos sulfurosos en el petróleo.

3.4.5. *Emulsificación.*

Es el proceso por el cual un líquido que tiene en suspensión partículas pequeñas de sustancias, se dispersa en otro. Este proceso de emulsión de agua en hidrocarburos puede aumentar el volumen de una mancha aproximadamente cuatro veces. Se conoce como "mousse de chocolate" a la emulsión de agua en crudo, ya que esta mezcla adquiere un color rojo-pardo. El petróleo emulsiona con el agua o viceversa, el causante es el oleaje. Aunque si aumenta la temperatura pueden llegar a separarse.

Cuando es el hidrocarburo el que emulsiona con el agua, esta emulsión se dispersa rápidamente a causa de las corrientes marinas y oleajes. Este proceso a veces es bastante favorable, debido a que, ayuda en gran medida a los otros procesos de degradación como son la foto-oxidación y la biodegradación. Cuando es el agua la que emulsiona con el hidrocarburo, esta emulsión puede durar varios meses y es bastante problemática.

3.4.6. *Sedimentación.*

Es el proceso por el cual un petróleo que haya sido derramado se hunde a causa de su gran densidad o y se adhieren a partículas sólidas, aunque existen pocos crudos lo suficientemente densos para hundirse en el mar. En aguas abiertas es efectivo el proceso de sedimentación ya que aumenta la densidad del petróleo, pero sólo cuando la densidad sea cercana a la del agua del mar, además de que haya pocas partículas en suspensión.

Las aguas poco profundas facilitan la sedimentación ya que poseen un contenido mayor de partículas sólidas en suspensión.

3.4.7. *Dispersión.*

La dispersión consiste en la fragmentación del vertido en pequeñas gotas de pequeño tamaño. Este factor depende del oleaje y las turbulencias en la superficie del mar, estos factores actúan en el petróleo y lo fraccionan en pequeñas partículas, estas partículas permanecen en suspensión hasta llegar a un punto, en que comienzan a dispersarse formando una fina capa iridiscente o bien, se produce una biodegradación por acción de los microorganismos de la zona afectada. Por último, llegará un momento en el que sedimente el petróleo derramado.

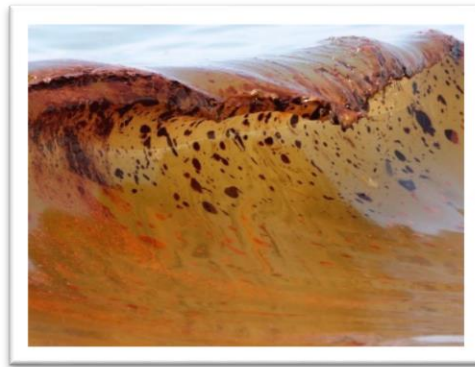


Ilustración 15 Dispersión en el agua; Fuente: <http://www.micromix-mexico.com/wp-content/uploads/2013/05/oilwave.jpg>

3.4.8. *Biodegradación.*

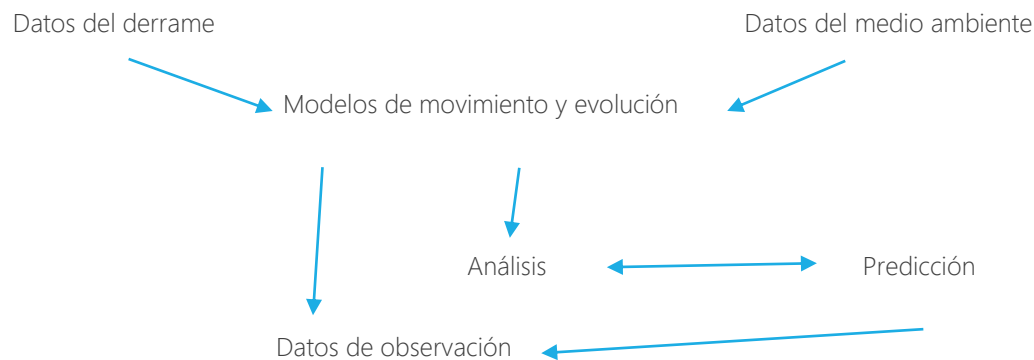
Es el proceso por el cual el petróleo se transforma en otros compuestos fáciles de ser absorbidos por el medio ambiente, gracias a bacterias, hongos o micro-organismos, los cuales les sirve de fuente de alimentación.

3.5. **Movimiento de las machas de hidrocarburos.**

Los vertidos de petróleo sobre la superficie de la mar, son capaces de extenderse inmediatamente a causa de la meteorología; se ha comprobado que 1 m³ de hidrocarburos puede llegar a formar una mancha de 100 metros aproximadamente en torno a una hora y media, también es importante mencionar que las existencias de residuos sólidos pueden afectar al movimiento de un derrame.

Aunque es complicado saber de forma previsible hacia donde se moverá el derrame, ya que, existen diversos factores, la experiencia ha conseguido demostrar algunas particularidades, por ejemplo:

- La mancha poseerá más espesor en la dirección a favor del viento y menos en la dirección contraria.
- Cuando el viento sopla con fuerza la mancha de hidrocarburo suele dividirse en manchas de menor tamaño y con una forma alargada.
- Las mareas y corrientes son bastante complicadas de apreciar ya que van variando en dirección e intensidad a lo largo del tiempo.



El hidrocarburo es transportado a través de la superficie del agua debido al proceso de extensión y advección. Al cabo de las primeras horas del vertido el proceso de extensión se completa en pequeños vertidos. En el segundo caso, los derrames a través de la advección se trasladan hasta largas distancias gracias a los vientos, las corrientes y las turbulencias a gran escala.

3.6. Observación de las zonas del derrame.

La información relativa al desplazamiento y al comportamiento de un derrame de hidrocarburo en el mar tiene gran relevancia a la hora de determinar una estrategia en la elección de las opciones para combatirlo. La vigilancia desde el aire se realiza con observadores expertos en este tema, y que son capaces de identificar y evaluar con precisión el derrame.

Gracias a todo ello, se puede organizar de forma más efectiva el control para las operaciones de contención del hidrocarburo, recolección y limpieza, ya que una parte importante es localizar el hidrocarburo vertido con la suficiente antelación, para que, se pueda actuar de forma inmediata y adecuada para proteger las costas o las áreas afectadas.

3.6.1. Vigilancia aérea.

Los objetivos de la vigilancia aérea son:

- Determinar el volumen, la cantidad y situación en la que se encuentra el vertido.

- Determinar el desplazamiento y dirección en la que va el vertido.
- Observar las modificaciones en el aspecto y distribución a medida que pasa el tiempo.
- Guiar a las embarcaciones encargadas de la lucha contra la contaminación de hidrocarburos con el fin de asegurar que las operaciones de limpieza en el mar se realicen de la manera más eficaz.
- Prever cuales son los recursos o las zonas marinas y costeras que se encuentran amenazadas.
- Informar acerca de la eficacia de las medidas de la lucha contra el vertido de hidrocarburos.

Cuando ocurre el accidente, los informes de los vuelos de vigilancia resultan de gran ayuda, para poder hacerse una idea de la dimensión y naturaleza del vertido. Los siguientes vuelos posteriores al primero, deben hacerse de manera regular para aprovechar al máximo la planificación y el control de las operaciones que se estén realizando.

La selección de la aeronave que se utilizará para la realización de estas misiones ha de ser significativa, ya que, no sólo se debe tener en cuenta la aeronave en sí misma, sino que también se debe de tener en cuenta aspectos como: donde repostará la aeronave, la distancia que recorrerá respecto al derrame y la pista de aterrizaje más cercana a este.

En selección de la aeronave se debe de tener en cuenta la velocidad de operación, debido a que, a gran altura, la visión y registro de los hidrocarburos se reducirá y, al contrario, cuando sea demasiado bajo el vuelo estos factores se limitarán. En la actualidad, la flota aérea de SASEMAR la componen 11 helicópteros y 3 aviones distribuidos por toda la geografía española.



Ilustración 16 SASEMAR 101, modelo CN-235-300; Fuente: SASEMAR

Los tres aviones de Salvamento Marítimo están equipados con tecnología avanzada capaces de detectar vertidos de hidrocarburos en el medio marino. Estos aviones realizan misiones que pueden llegar a durar 9 horas gracias a la autonomía que poseen, por tanto, son capaces de recorrer 3.706 kilómetros con un radio de acción de casi 1.853 kilómetros.

Nombre	Modelo	Zona de influencia	Propiedad
Sasemar 101	CN-235-300	Mediterránea	Sasemar
Sasemar 102	CN-235-300	Galicia/Cantábrico	Sasemar
Sasemar 103	CN-235-300	Canarias	Sasemar

Ilustración 17 Flota de aviones de SASEMAR; Fuente: SASEMAR

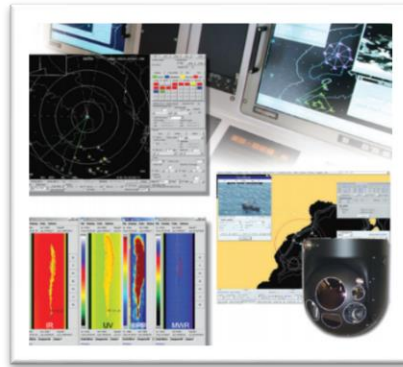


Ilustración 18 Equipos electrónicos abordo; Fuente: SASEMAR

Salvamento Marítimo posee 9 de los 11 helicópteros de salvamento que se encuentran operativos en España. Estos helicópteros son activados para respuestas rápidas mayormente en misiones de supervivencia o evacuaciones médicas, aunque como se dijo más arriba, también pueden incluirse misiones contra la contaminación. Estos helicópteros se encuentran las 24 horas operativos en las bases de SASEMAR.



Ilustración 19 Helimer con rescatador; Fuente: SASEMAR

Base	Modelo	Zona de influencia
Santander	AW139	Cantábrico Oriental
A Coruña	EC225	Galicia
Santiago de Compostela	AW139	Galicia
Jerez	AW139	Estrecho
Valencia	AW139	Mediterráneo Central

Las Palmas	S61N	Canarias Oriental
Palma de Mallorca	AW139	Baleares
Almería	AW139	Alborán/Mediterráneo Sur
Reus	AW139	Mediterráneo Norte
Tenerife	AW139	Canarias Occidental
Gijón	AW139	Cantábrico Occidental

3.7. Métodos de búsqueda.

Antes de que el avión despegue se ha de tener preparado un plan de vuelo, el cual debería de tener en cuenta cualquier información relevante a tener en cuenta, para poder reducir el área de búsqueda, ya sea, últimas observaciones conocidas o la trayectoria del hidrocarburo.

La altitud de la búsqueda no debe ser excesiva y dependerá de la climatología del lugar afectado por el vertido. Se suele realizar sobre unos 500 metros de altura, aunque esto puede estar sujeto a modificaciones.

Para que los esfuerzos de la lucha contra la contaminación se centren en las áreas más afectadas, es de vital importancia conocer la cantidad de concentración del hidrocarburo. Resulta complicado realizar una evaluación precisa, pero una forma de evitar visiones distorsionadas es hacer una observación completamente vertical del vertido. Así pues, se dispone de una guía donde se indican diferentes colores que puede poseer la mancha y un tanto por ciento con la cantidad de hidrocarburo que puede encontrarse en la mar.

Trazas <10%	Discontinua 25%	Manchas desiguales 50%	Manchas discontinuas 75%	Continua >90%
---------------------------------	----------------------------------	---	---	-----------------------------------

Ilustración 20 Guía para determinar el porcentaje de hidrocarburo; Fuente: www.itopf.com/.../TIP1AerialObservationofMarineOilSpills.pdf

En la actualidad, España posee la flota aérea con los equipos más avanzados de toda la Unión Europea y equipados con los sistemas de sensores de última generación para la lucha contra la contaminación.

3.8. Planes de contingencia.

Un plan de contingencia es un conjunto de procedimientos que han sido establecidos de forma jerárquica para dar una respuesta rápida a un vertido de petróleo y así minimizar los daños que esto puede ocasionar en el entorno, así pues, las personas que participan en el plan se les otorga una serie de responsabilidades y funciones.

Un accidente en el cual se viertan al mar cantidades importantes de hidrocarburos, es el caso principal donde se verán involucrados diferentes organismos estatales, medios de diferentes naturalezas y

procedencias y gran número de recursos humanos. Por otro lado, existen grandes consideraciones en lo relevante al impacto de los ecosistemas, el medioambiente, seguridad, salud pública y varios tipos de industrias como las actividades de comercio o la pesca. Todas esto es más fácil de organizar si se ha establecido un plan de contingencia que haya sido bien preparado y probado.

De esta forma existen planes de forma escalonada, los planes locales forman parte de un plan regional a su vez de plan estatal, y de este a un plan internacional. De esto podemos entender que siempre va a ver un plan de contingencia dependiendo del alcance del vertido. Así pues, tenemos:

- Plan Interior de Contingencia: Se llevará a cabo este plan cuando los vertidos ocurran en instalaciones mar adentro, en puertos o en terminales marítimas de carga o descarga de petróleo u otros productos perjudiciales para el medio en caso de accidente. Según la Orden de Fomento de 23 de febrero de 2001 y el Real Decreto 253/2004, los puertos y empresas tienen que poseer material contra la contaminación además de elaborar su propio plan de contingencia.
- Plan Territorial de Contingencia: Este plan se basa en la lucha contra la contaminación en una o varias regiones que competen a una Comunidad Autónoma. Este plan se llevaría a cabo en el caso de que la contaminación producida por instalaciones mar adentro, puertos o terminales, afectara a zonas costeras con una cierta extensión.
- Plan Nacional de Contingencia: Cuyo ámbito está enfocado a Zonas Económicas Exclusivas donde las autoridades nacionales marítimas tienen jurisdicción y también se aplica a Mares Territoriales.
- Plan Internacional de Contingencia: Se llevaría a cabo en el caso que el vertido afectara a dos o más países. En este caso se ha de informar a los países afectados por el vertido y a los organismos internacionales a través de el "Sistema de Notificación de Contaminación" o también llamado "POLREP" que es un grupo de expertos en la OMI que asesoran a los países implicados en este tipo de casos para evaluar los requisitos referentes a las intervenciones y medidas.

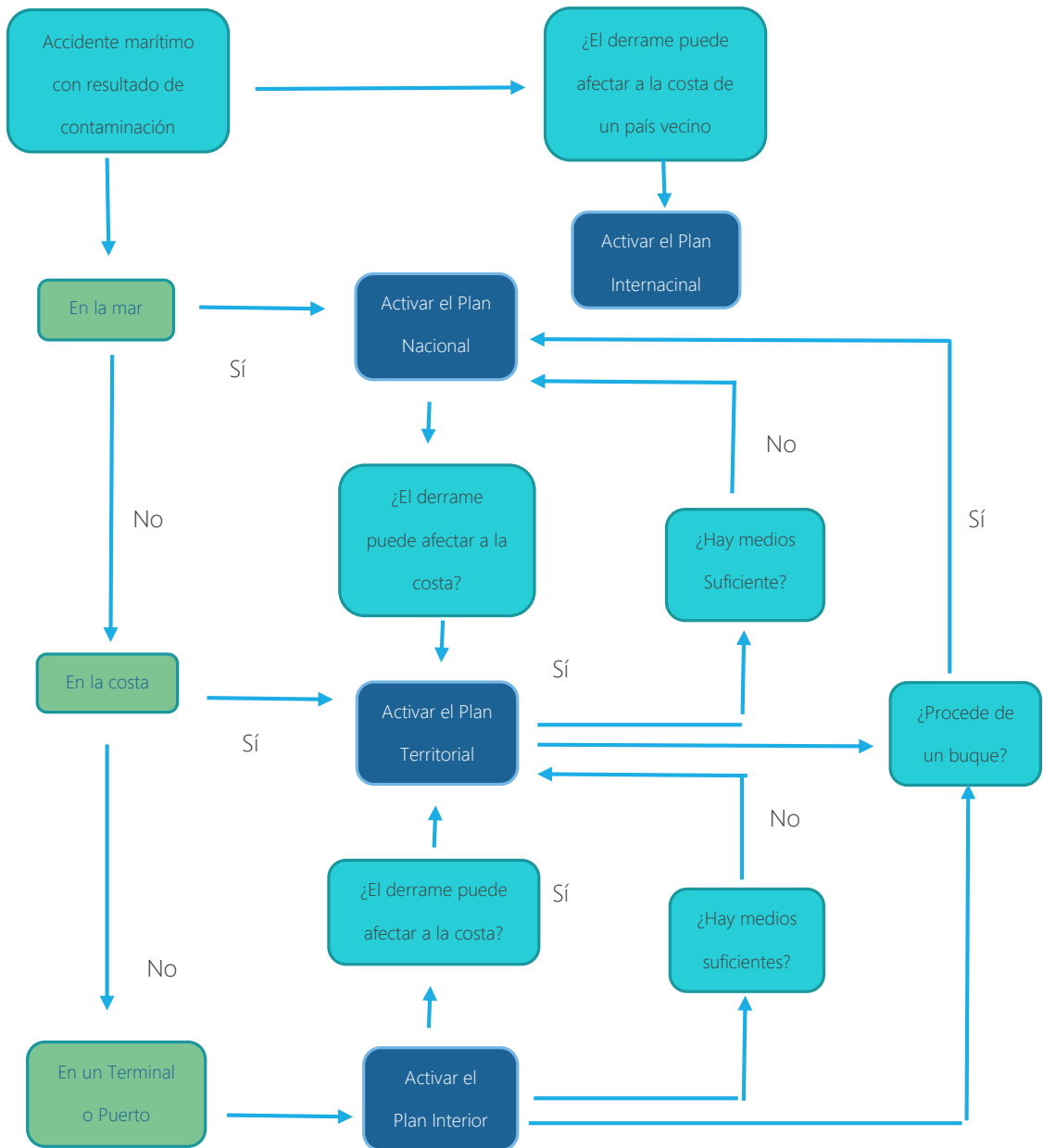
Para evitar los peligros medioambientales y socio-económicos que derivan de un vertido de hidrocarburos, se ha de diseñar un plan de contingencia con varias etapas.

3.8.1. Estructuración de un plan de contingencia.

En caso de accidente es importante tener claro las dos partes de las que consta un plan de contingencia.

- Parte estratégica o analítica: donde se expondrán las políticas o responsabilidades del plan operativo; Esta parte posee ocho áreas donde se explican las estrategias que han de seguirse en caso de un accidente
- Parte operativa: En esta parte se describen y se establecen las acciones de respuesta ante un vertido de petróleo.

3.8.2. Criterios para la activación de un plan de contingencia.



3.9. Contención de los hidrocarburos.



Ilustración 21 Barrera de contención; Fuente: http://meioambiente.culturamix.com/blog/wp-content/gallery/5_110/vazamento-no-golfo-do-mexico-9.jpg

Las barreras son utilizadas habitualmente para cercar y contener los vertidos de hidrocarburos en el mar para evitar el paso de este a zonas sensibles. Por tanto, son medios físicos que ayudan a contener, proteger, controlar y recuperar el hidrocarburo vertido, aunque su eficacia dependerá una vez más de la ubicación en la que se encuentre el vertido o las condiciones ambientales de la zona. Estos sistemas flotantes tienen diversas formas, medidas y tipos habiéndose basado en un principio en sistemas de pesca con red y flotadores, pero lo más común es que estén formadas por:

- Flotador: es la parte superior de la barrera, le confiere un grado de flotabilidad para mantenerse en la superficie.
- Faldón: Es la parte que se encuentra a la mitad de la barrera, tiene forma de cortina y su principal misión es la de evitar que el petróleo sea capaz de sobrepasar la barrera por el fondo.
- Lastre: Es la parte inferior de la barrera, suele consistir en una cadena, plomadas, pesos metálicos, etc. Su principal función es la de dar una cierta sujeción y estabilidad a toda la barrera haciendo que se mantenga de forma vertical, evitando que las olas o el propio viento puedan llegar a darle la vuelta.

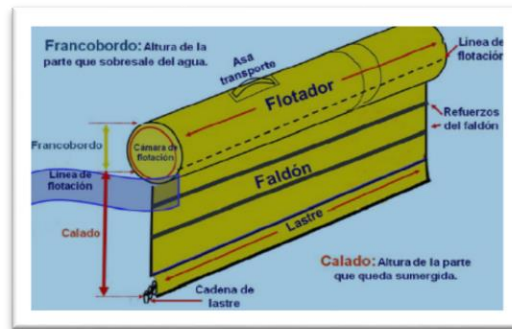


Ilustración 22 Partes de una barrera de contención; Fuente: www.itopf.com/.../TIP3UseofBoomsinOilPollutionResponse.pdf

Para que una barrera sea efectiva deberá ser fácil su despliegue en la zona, además de poder transportarse de forma sencilla deberá de integrarse con el resto de sistemas contra la contaminación, ya sea, con otros tipos de barreras o con mecanismos para la recuperación de los vertidos. Las barreras divididas en varias secciones son operativamente más fáciles de usar, ya que, si una de estas secciones fallase, podría ensamblarse con otra, el inconveniente de esto, es el ensamblado de un gran número de barreras.

Los tipos de barreras más comunes que se pueden ver son:

- Barreras mecánicas.
- Barreras neumáticas.
- Barreras químicas.

Para algunas situaciones es conveniente realizar algún tipo de anclaje para contener el derrame de hidrocarburos, pueden existir fuertes corrientes o vientos capaces de reducir la efectividad de la barrera. Se debe tener en cuenta también, que pueden correrse riesgos de incendio de la barrera cuando se colocan muy cerca de accidentes que impliquen embarcaciones.

3.9.1. Barreras mecánicas.

En la actualidad existen multitud de tipos de barreras de contención y gracias a la experiencia sobre el tema se siguen desarrollando técnicas para mejorar estos sistemas. Según su construcción, podemos clasificar estas barreras en:

1. Barreras de valla.

Son barreras que poseen una sección transversal plana, vertical al agua con la ayuda de flotadores, lastre y apuntalamientos. Se construyen con materiales de tipo rígido o semi-rígido, poseen unos paneles contruidos con PVC, poliuretano o nitrilo/neopreno. Estos paneles se mantienen a flote gracias a los

flotadores de espuma instalados en la parte inferior. Los sistemas de lastre pueden ser de cadenas, cables o con pesas de plomo y otro material pesado.

Ventajas	Desventajas
Bajo coste	Mal adaptabilidad al oleaje
Rápido despliegue	Facilidad de vuelco
Empleo mediante fondeo	Difícil de limpiar
Manipulación y almacenamiento compacto	Posible pérdida de francobordo

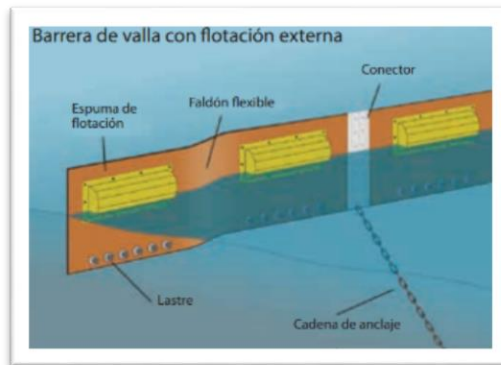


Ilustración 23 Fuente: ITOPF (International Tanker Owners Pollution Federation Limited)
www.itopf.com/.../TIP3UseofBoomsinOilPollutionResponse.pdf

2. Barreras de valla con órgano de tracción externo.

Están fabricadas con PVC/poliuretano. Se parecen a las velas de un barco, poseen unos cables de uniones longitudinales haciendo que las placas se desplieguen en la dirección en la que viene el viento.

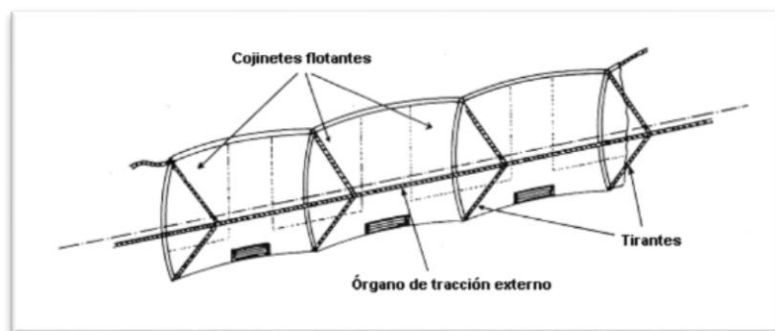


Ilustración 24 Barra de tracción; Fuente: http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/pecmar/anejo_09/Doc_03%20Barreras.pdf

Ventajas	Desventajas
Poco peso	Despliegue complicado
Buenas para grandes derrames	Difíciles de limpiar
Resistentes	Sólo funcionan en una dirección
Balance y cabeceo excelente	Difíciles de recuperar

3. Barreras de cortina

Poseen una cámara de flotación y un faldón o malla flexible que es sostenida por la cámara. Estas barreras pueden ser hinchadas antes de su despliegue, lo que las hace ocupar menos espacio en su almacenamiento. Para enviar aire a la barrera se necesita de un sistema auxiliar para llenar el flotador. Las tres categorías principales de este tipo de barrera son:

3.1 Flotador macizo plano.

Este tipo de barrera se constituyen por un flotador que forma parte de toda la altura. Éste está formado por una espuma compacta que resiste a la química de los hidrocarburos gracias a un material hidrófugo que vuelve a su estado estructural en el caso de que se deforme.

Ventajas	Desventajas
Resistencia a productos químicos	Gran volumen de almacenamiento
Despliegue rápido	Comportamiento pésimo al remolque
Alta resistencia	Poca estabilidad



Ilustración 25 Barrera en bobina; Fuente http://im01.itaiwantrade.com/96eaf6c2-20e8-4f41-b9f6-a9238a2f4887/d8b6c993-bb4a-4d8c-a9de-a05eb2500df2_24-360x360.jpg

3.2 Flotador sólido cilíndrico.

Las barreras de este tipo se componen de tramos de aproximadamente 1 metro de longitud y su flotabilidad viene dada por una cámara de flotación compuesta por un cilindro rígido de polietileno.

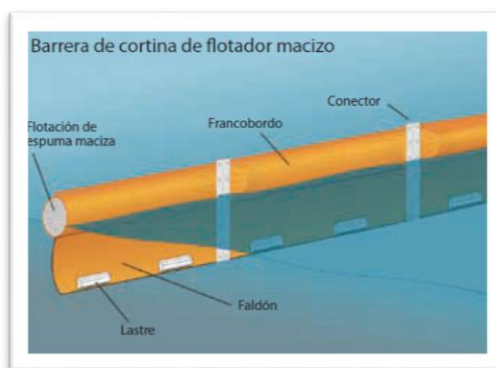


Ilustración 26 Barrera lastrada con pesos; Fuente:

<http://www.itopf.com/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP3UseofBoomsinOilPollutionResponse.pdf>

Ventajas	Desventajas
Buen comportamiento con olas	Poca robustez
Estabilidad	Gran volumen
Costes bajos	Despliegue complicado

3.9.2. Barreras neumáticas.

1. Barreras de flotación inflables a presión.

La mayoría de barreras oceánicas y costeras son de este tipo. Estas barreras se componen de una cámara de aire en el interior que les confiere flotabilidad, se dividen en secciones de 2 ó 4 metros para que en caso de pinchazo accidental no se vea afectada toda la estructura de la barrera. Suelen estar construidas con PVC o de nitrilo/neopreno y poseen válvulas antirretorno y aliviadoras de presión. El lastre para estas barreras suele ser por medio de cadenas o cables, aunque existe un tipo que utiliza el agua como lastre. En este tipo la barrera posee dos cámaras de lastre en vez de usar sólo una o un faldón.

Ventajas	Desventajas
Gran estabilidad	Lentitud en el despliegue
Buen comportamiento con oleaje	Alta posibilidad de pinchazo
Buen comportamiento en remolque	Medios mecánicos para hinchado
Poco volumen al almacenar	Necesidad de personal para su uso

2. Barreras de flotación autoinflables.

La cámara de aire que posee este tipo de barrera se inflan con presión de aire atmosférico. Se estiban o se almacenan plegadas para reducir su espacio de almacenado. Una válvula de retención en la parte superior de la estructura de la barrera permite la entrada de aire al interior de esta y un fleje metálico ayuda a que

la cámara obtenga la estructura cilíndrica. El material con el que se construyen es de PVC o materiales similares a este.

Ventajas	Desventajas
Gran estabilidad	Gran mantenimiento
Despliegue rápido	Posibilidades de pinchazo
Buena actuación en el remolque	Reparación complicada
Comportamiento favorable en olas	Válvulas de retención delicadas

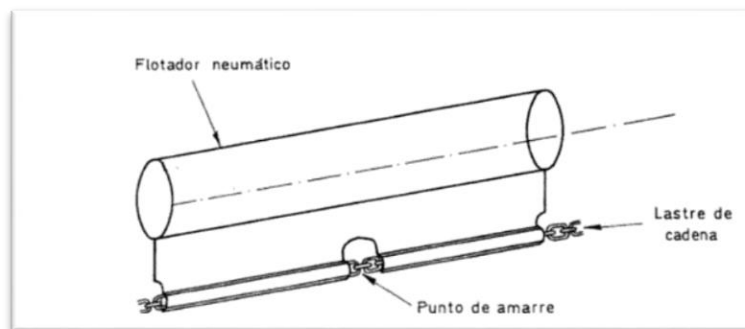


Ilustración 27 Barrera autoinflable; Fuente: Manual de Lucha Contra la Contaminación por Hidrocarburos. (José María Silos Rodríguez)

Algunos problemas de las barreras.¹

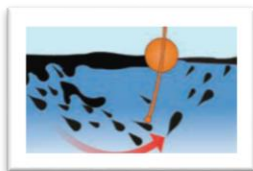


Ilustración 30 Arrastre

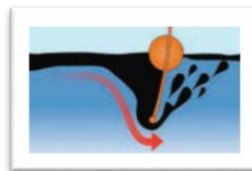


Ilustración 29 Fallo de drenaje

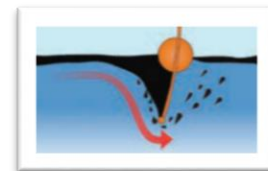


Ilustración 28 Acumulación crítica

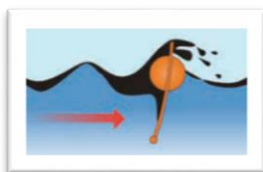


Ilustración 33 Escape por encima

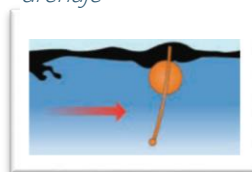


Ilustración 32 Inmersión

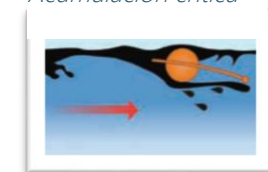


Ilustración 31 Pérdida de verticalidad

¹ Imágenes sacadas de:

<http://www.itopf.com/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP3UseofBoomsinOilPollutionResponse.pdf>

3. Barreras de sellado con el litoral.

Estas barreras se construyen con PVC o materiales de poliuretano, poseen un flotador hinchable y dos cámaras en la parte inferior que se llenan de agua sirviendo de lastre. Son eficaces para sellar zonas sensibles, playas o estuarios cuando baja la marea, ya que se asientan en el fondo. En la parte inferior poseen una capa especial antiabrasión para disminuir los daños por rozamiento.



Ilustración 34 Barrera de sellado; Fuente: http://www.markleen.com/c/images/m/products/Oil%20Booms%20-%20Coastal%20Use/Oil_Booms_-_Coastal_780_640_425_70.jpg

3.9.3. Otros tipos de barreras.

1. Barreras neumáticas de fondo.

La misión de este sistema es crear una pantalla de burbujas desde el fondo por medio de una tubería fija, las cuales crean una corriente horizontal ascendente que retiene la mancha de hidrocarburos.

Una barrera normal de este tipo contiene una tubería en el fondo de entre 30 y 100 metros de longitud descargando cerca de 0,2 a 1,5 metros cúbicos de aire. La profundidad a la que se encuentre esta dependerá de las necesidades de la situación, pero habrá que tener en cuenta que la presión dependerá de la profundidad, pero la óptima suele estar entre los 5 metros.

Ventajas	Desventajas
La activación es rápida	Sólo se usan en aguas tranquilas y poco profundas
Se pueden usar dentro de los puertos	La meteorología debe de ser estable
No interfieren en el tráfico marítimo	Se precisa de una infraestructura grande.

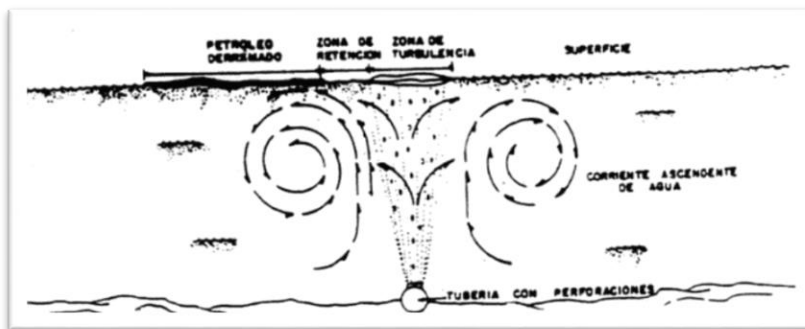


Ilustración 35 Funcionamiento de una barrera neumática de fondo; Fuente: Manual de Lucha Contra la Contaminación (José María Silos Rodríguez)

2. Barreras resistentes al fuego.

Existe un tipo de barrera que se utiliza en los casos en los se haya producido la combustión accidental o intencionada del petróleo. Para ello estas barreras se construyen de materiales metálicos resistentes a altas temperaturas y en la pared en contacto con las llamas de un material cerámico.

Ventajas	Desventajas
Aíslan del fuego	Altos costes
Alta contención del vertido	Gran volumen de almacenaje



Ilustración 36 Barreras ignífugas; Fuente:

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3935/Pablo%20Casado%20Ferreiro.pdf?sequence=1>

3.9.4. Métodos de despliegue.

Existen dos métodos para la contención y recogida de hidrocarburos, estos métodos dependerán de factores como el tipo de petróleo vertido, el espesor, el lugar del derrame, etc. Y conociendo estos factores se utilizará un método y otro.

1. Barreras fondeadas.

Se utilizan cerca de la costa evitando que los vertidos lleguen a zonas sensibles o en algunos casos para conducir el derrame a una zona donde sea más fácil su recogida.

Existen también los casos donde en las primeras fases de un vertido, sea cerca de la costa como en mar abierto, se utilizan para cercar al buque afectado evitando que el hidrocarburo de su interior se esparza en una mayor superficie. La planificación de las operaciones de despliegue ha de ser precisas para el éxito de la contención. A menudo se utilizan varios medios para este método de despliegue que son:

- Dos remolcadores.
- Equipo de recuperación, como puede ser un Skimmer.
- Un equipo para almacenar los hidrocarburos vertidos.

1.1. Círculo.

Hay veces que se necesita “encerrar” a un buque que tenga una fuga por donde se esté vertiendo hidrocarburo, como se dijo en el párrafo anterior. En estos casos lo que se hace, es que se aísla mediante una barrera de fondeo al buque siempre y cuando la velocidad del movimiento de la macha, el viento y otros factores sean favorables. En este cerco, se suele dejar una pequeña abertura suficiente para que una embarcación pueda entrar y tratar o recuperar el hidrocarburo.

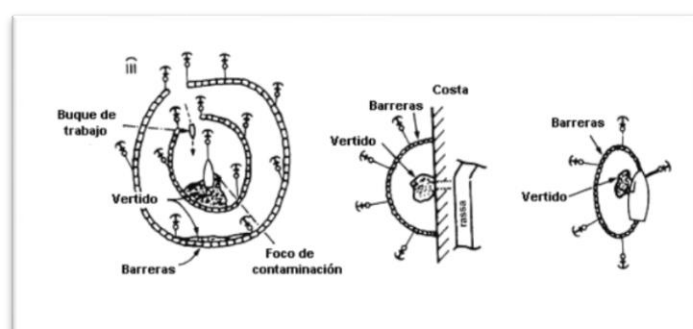


Ilustración 37 Barrera en círculo; Fuente: http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/pecmar/anejo_09/Doc_03%20Barreras.pdf

1.2. Intercepción con barreras fondeadas.

Cuando existen grandes derrames y no se dispone de grandes longitudes de barreras o, no se ha podido establecer a tiempo un cerco en círculo como en el apartado anterior, se dispone de esta operación de despliegue, basada en contener los hidrocarburos en la dirección del viento o de la corriente. En el caso de que no sea suficiente con un tendido, se pueden utilizar varias series de barreras.

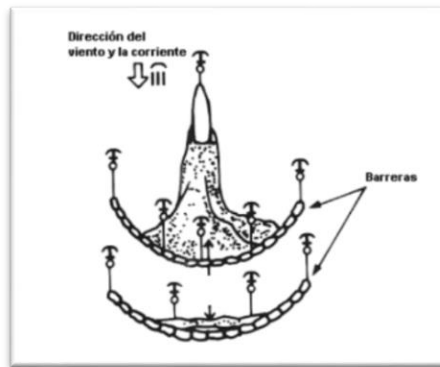


Ilustración 38 Intercepción del vertido mediante dos series de barreras; Fuente: http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/pecmar/anejo_09/Doc_03%20Barreras.pdf

1.3. Desviación.

Existen los casos en que es complicado confinar un derrame de petróleo debido a las condiciones geográficas, meteorológicas, o que el derrame vertido al mar sea de grandes proporciones y no haya medios suficientes para su aislamiento. Con frecuencia en estos casos, se intenta desviar el petróleo mediante barreras, para dirigirlos a zonas donde las aguas estén más tranquilas y la geografía del lugar sea favorable para su recogida.

1.4. Contención en flujo libre.

Cuando la velocidad de la corriente o del viento son muy fuertes, o existe gran profundidad como para poder anclar la barrera, se puede cercar el hidrocarburo con barreras y dejar que esta vaya libremente con el hidrocarburo cercado, mientras se realizan las operaciones de recogida.

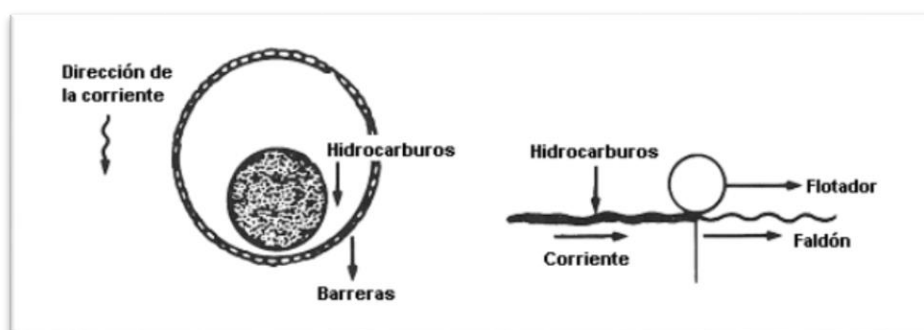


Ilustración 39 El hidrocarburo y las barreras se mueven a favor de la corriente; Fuente: http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/pecmar/anejo_09/Doc_03%20Barreras.pdf

1.5. Configuración múltiple.

Existen casos en los que el hidrocarburo retenido en una barrera estacionaria escapa fruto de la inclinación del faldón por un fallo de arrastre. En estos casos y dependiendo de la cantidad de barreras que se tengan,

se configura una doble barrera de retención a cierta distancia de la primera, entre 1 y 5 metros, para que los hidrocarburos escapados de la primera sean retenidos en una segunda o tercera barrera.

2. Barreras remolcadas.

Estas barreras se usan en varios casos, como cuando las corrientes y/o el viento son demasiado intensos para poder utilizar barreras fondeadas o cuando el vertido se haya propagado alejándose del lugar donde se produjo.

2.1. Limpieza con una embarcación.

Existen embarcaciones que poseen unas barreras especiales que se extienden en los costados del buque parecido a brazos rígidos. El buque navega a través del derrame recogiendo los hidrocarburos y almacenándolos en bodegas especiales

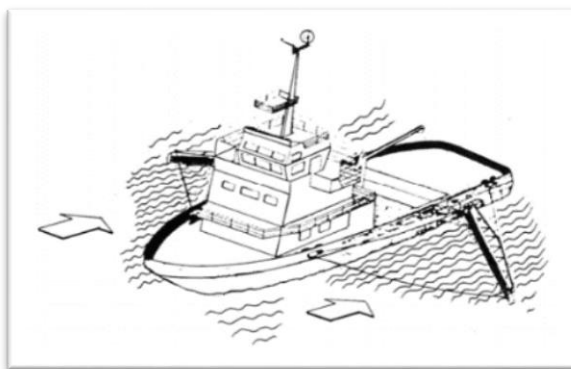


Ilustración 40 Buque recogiendo los vertidos; Fuente:
http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/pecmar/anejo_09/Doc_03%20Barreras.pdf

2.2. Limpieza con dos embarcaciones.

Este método se basa en la utilización de dos embarcaciones que sujetan por los extremos la barrera y van "barriendo" la mancha de hidrocarburo. Lo más usual es la formación en forma de "J", haciendo que la embarcación que se queda más retrasada forme una rasera.

Este sistema permite que se pueda adaptar el dispositivo a la velocidad de las embarcaciones y con la utilización de una manguera se pueda enviar el hidrocarburo a los tanques que posee la embarcación.



Ilustración 41 Formación en "J" mediante dos embarcaciones; Fuente:
http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/pecmar/anejo_09/Doc_03%20Barreras.pdf

2.3. Limpieza con tres embarcaciones.

Se suele realizar en formación tipo "U" o tipo "V", y es un sistema basado en que dos embarcaciones naveguen en paralelo a la misma velocidad transportando los extremos de la barrera, mientras que, la tercera embarcación tiene como finalidad la de recoger los vertidos.

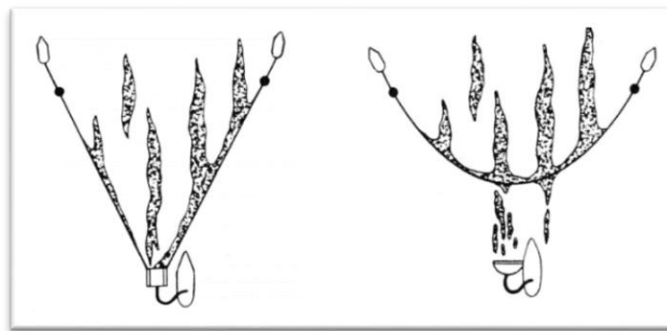


Ilustración 42 Formación en "V" y formación en "U"; Fuente:
http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/pecmar/anejo_09/Doc_03%20Barreras.pdf

3.9.5. Tipos de conexiones.

El sistema de conexión más utilizado a día de hoy, es el sistema ASTM. Con este sistema se intenta estandarizar las uniones entre barreras de contención para evitar la diferencia de conexiones entre fabricantes. Así, este sistema utiliza conexiones de aluminio de alta calidad para resistir los envistes de las olas y la corrosión marina. Se basa en encastrar los dos extremos a unir y unirlos por medio de un carril y pasadores que evitan el desplazamiento de la unión.



Ilustración 43 Conexión ASTM; Fuente:
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3935/Pablo%20Casado%20Ferreiro.pdf?sequence=1>

En el caso de uniones en barreras oceánicas se necesitan conexiones más robustas que puedan soportar mayores esfuerzos de tensión y con una alta carga de rotura. Estas uniones suelen ser metálicas, normalmente de acero inoxidable para evitar corrosión en ellas y están formadas por un encastre circular en ambas cabezas de unión además de una varilla metálica que las une.

Existe un sistema llamado “Noruega” que no utiliza piezas metálicas, haciendo las uniones muy flexibles. Este sistema utiliza un simple cabo cosido en los ojales de ambas cabezas. El inconveniente más importante es que, es un trabajo muy laborioso y complicado de realizar con la barrera a flote. Para algunas conexiones también se utilizan piezas con forma de “G” que se enganchan en la zona de unión de las barreras.



Ilustración 44 Conexión “Noruega” ; Fuente:
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3935/Pablo%20Casado%20Ferreiro.pdf?sequence=1>

3.10. Recuperación de los vertidos de hidrocarburos.

Tras tener un vertido contenido por medio de barreras, el siguiente paso es combatirlo o mitigar sus efectos. El método más deseable es la extracción de ese vertido, pero no siempre es posible debido a factores meteorológicos, la cantidad derramada de hidrocarburos y las características que estos poseen.

3.10.1. *Skimmers.*

Estos equipos mecánicos están diseñados para su uso en la eliminación física de derrames que flotan sobre la superficie del agua. Algunos equipos de skimmers utilizan una "cinta transportadora" para llevar el petróleo vertido a unos depósitos donde se recogen para su recuperación y su posterior tratamiento. Otras tecnologías de Skimmer usan la succión para extraer el petróleo superficial y eliminarlo, sin embarco los más utilizados son lo de tipo "vertedero" , que por medio de la gravedad recogen los hidrocarburos vertidos y los almacenan.

Oleofílicos	No oleofílicos
Disco	Succión/Aspiración
Cuerda oleofílica	Vertedero
Tambor	Correa
Cepillo	Tambor
Correa	

Como se ve en la tabla anterior, existe una gran familia de Skimmer, aunque en este trabajo sólo nos centraremos en los tipos de Skimmers más corrientes que posee SASEMAR en la actualidad; De succión/aspiración, de vertedero y oleofílicos (Disco y cepillo).

Las partes básicas de una Skimmer son:

- Cabeza flotante.
- Bomba de aspiración o unidad de potencia.
- Mangueras aspirantes y de descarga.
- Depósito de almacenaje.

Skimmer de succión/aspiración.

Este Skimmer funciona mediante una bomba o sistema de aspiración de aire que se encuentra en camiones o remolques aspiradores que son capaces de no sólo aspirar, sino, también de almacenar, transportar y separar los hidrocarburos del agua. La gran cantidad de sistemas de aspiración convierten a estas skimmer

en idóneas para recoger hidrocarburos en las zonas costeras o cerca de ellas, incluso existen sistemas de succión portátiles que ayudan a recoger hidrocarburos en zonas de difícil acceso para maquinarias pesadas pero el gran inconveniente es que el almacenamiento es limitado debido a su tamaño.



Ilustración 45 skimmer portátil; Fuente: <http://www.itopf.com/knowledge-resources/documents-guides/document/tip-5-use-of-skimmers-in-oil-pollution-response/>

Skimmer de vertedero.

Consiste en un embudo que se mantiene un poco por debajo de la superficie gracias a estar rodeado de flotadores. Estos utilizan la gravedad para, de una forma selectiva, recoger el hidrocarburo que flota sobre la superficie del mar. Por tanto, esta skimmer lo que hace, es que se mantiene en la interfaz agua/hidrocarburos y estos últimos fluyen hacia dentro del embudo. Este tipo de skimmer son bastante eficientes en algunos casos y mediante la colocación precisa del vertedero consiguen recolectar gran cantidad de hidrocarburos y muy poca cantidad de agua. Sin embargo, suelen no ser tan efectivos en condiciones donde haya un fuerte oleaje. Para superar la viscosidad de algunos hidrocarburos existen algunos modelos que incorporan sus propias bombas.



Ilustración 46 Skimmer de vertedero; Fuente: Propia

Skimmer oleofílicos.

Utilizan un material que se impregna de hidrocarburo para luego escurrirlo en el depósito mediante bombas. Las formas que adopta este material pueden ser; con forma de disco, cuerdas, correas, cepillos o de tambor. Los skimmer oleofílicos suelen tener una relación de hidrocarburos recogidos más alta respecto al agua arrastrada. Su efectividad dependerá de la viscosidad que posea el hidrocarburo, siendo los hidrocarburos de tipo fueloil pesado los más pegajosos y fáciles de retirar.



Ilustración 47 Skimmer de cepillos; Fuente: http://www.salvamentomaritimo.es/wp-content/files_flutter/1322477910Web_EspecificTecnicasSkimmers.pdf

3.10.2. Embarcaciones de recogida.

Existen embarcaciones provistas de sistemas mecánicos (tangones, skimmers y barreras) y con gran capacidad de almacenamiento, capaces de llevar a cabo misiones de lucha contra la contaminación en alta mar y con meteorología adversa durante varios días, esos buques pueden ser el "Don Inda " o el " Clara Campoamor" . Existen también algunas embarcaciones de poco calado y muy maniobrables, las cuales pueden acceder a zonas donde les es imposible a embarcaciones mayores y mejor preparadas. Estas pequeñas embarcaciones poseen diferentes sistemas mecánicos y son de vital importancia en la recogida de vertidos en zonas como ríos, canales, puertos, etc.



Ilustración 48 Embarcación con barreras; Fuente: https://i.cbc.ca/1.1547778.13790447121/httpImage/image.jpg_gen/derivatives/16x9_620/hi-bc-130321-burrard-cleaner-oil-spill-wcmrc-8col.jpg



Ilustración 49 Buque polivalente Clara Campoamor; Fuente: <http://www.salvamentomaritimo.es/wp-content/uploads/2012/02/Buques-3.jpg>

En la actualidad, Salvamento Marítimo posee alrededor de 4 buques polivalentes de su propiedad, capaces de la lucha contra la contaminación ya que albergan diferentes sistemas mecánicos para la recogida de vertidos y capacidad de almacenamiento, distribuidos por toda la geografía española.

3.10.3. Medios manuales y mecánicos.

Hay veces en que los equipos convencionales para la recogida de vertidos no dan abasto debido a la cantidad de vertido derramado al mar. En esos casos se han de utilizar medios de fortuna que ayuden con las tareas de lucha contra la contaminación. Sólo se usarán en estos casos, ya que, este tipo de equipos no fueron concebidos para estos fines.



Ilustración 50 Cazo hidráulico recogiendo hidrocarburo pesado; Fuente: <http://www.cetmar.org/documentacion/imagenes/EquiposFortuna.jpg>

3.10.4. Tangones.

Los tangones son mecanismos que poseen algunos buques especializados en la lucha contra la contaminación y que se arrían al mar por medio de pescantes, grúas auxiliares o en algunos casos por mecanismos hidráulicos que incorporan. Tienen forma de brazos laterales que se sitúan a los costados del buque. Constan de una bomba que mediante una o varias mangueras succionan el petróleo derramado en el mar. Esas mangueras, incorporan unas rejillas para evitar la entrada de residuos sólidos.



Ilustración 51 Tangón desplegado; Fuente: <http://www.cetmar.org/documentacion/comportamiento.htm>

Además de las mangueras, un tangón consta de dos flotadores (interno y externo) que proporcionan flotabilidad y ayudan a desviar el flujo de agua contaminada por los hidrocarburos a la jaula donde se encuentra la manguera succionadora.

3.10.5. Sorbentes.

Estos productos se utilizan actualmente en casos donde existen manchas de petróleo de pequeñas dimensiones y son capaces de recoger los vertidos gracias a las cualidades hidrofóbicas y oleofílicas.

Composición.

- Inorgánicos: materiales inorgánicos de origen volcánico que pueden llevar o no tratamientos oleófilos. (2 a 5 veces el peso del sorbente)².
- Orgánicos sintéticos: materiales compuestos por materiales sintetizados como la fibra de propileno. Estos sorbentes son los más utilizados en la actualidad. (30 a 70 veces el peso del sorbente)⁷.
- Orgánicos naturales: materiales compuestos por vegetales, turba, algodón o corteza de pino. Estos materiales no suelen utilizarse con mucha frecuencia en casos de derrames ya que una vez que absorben el hidrocarburo suelen hundirse a causa de su peso. (2 a 15 veces el peso del sorbente)⁷.

Los métodos de utilización de los sorbentes variarán en función del tamaño, diseño, forma y zona en la que se vaya a aplicar. Antes de su uso, se han de tener presentes cuestiones como el estado de la mar, el tipo de hidrocarburo a recuperar, los medios humanos y mecánicos implicados y la meteorología.

Aplicación.

Papeles: Poseen formas cuadradas o en tiras de entre medio metro y un metro con un grosor variable. Se suelen colocar para la recogida de pequeñas cantidades de hidrocarburo de tipo ligero en zonas confinadas o en el caso de usarlas en mar abierto, su uso debe ser con ayuda de barreras para evitar la dispersión de estos papeles.

Rollos: Son más versátiles que las anteriores ya que son tiras de aproximadamente 1 metro de ancho enrolladas en un cilindro donde se pueden cortar según la necesidad de la zona. Suelen usarse de la misma manera que el papel anterior.



Ilustración 52 Utilización de papeles absorbentes en un vertido cerca de la costa; Fuente: http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/pecmar/anejo_09/Doc_06%20Absorbentes.pdf

² Efectividad relativa de absorción.

Cojines: Están formadas por un material permeable donde en su interior se encuentran polvo o fibra absorbentes. Se utilizan para recolectar pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros o medios.

Barreras: Están compuestas por materiales absorbentes en su interior, comprimidos y envueltos por una malla. Además de absorber el hidrocarburo también sirven como barreras para contener el hidrocarburo.

Ventajas y desventajas de la utilización de sorbentes.

Ventajas	Desventajas
Facilidad de uso y disponibilidad	Sólo se usan para crudos ligeros o medios.
No importa el espesor de la mancha para su uso.	Están muy condicionadas por la meteorología del lugar.
No son tóxicos, por lo que se usan en zonas confinadas donde no se deben usar otros métodos.	Requieren un gran número de medios para su utilización y recogida.
Acortan la extensión que pueda llegar a tener el derrame.	Altos costos.

3.11. Dispersantes.

Los dispersantes son compuestos químicos que ayudan a la fragmentación del hidrocarburo gracias a los componentes tensoactivos que se hayan en estos compuestos. Gracias a la acción del oleaje y a las turbulencias creadas por las mareas y corrientes, el hidrocarburo llega a dividirse formando pequeñas gotas de hidrocarburo y arrastrándolas al fondo para su descomposición natural; lo que hace el dispersante, es acelerar este proceso de fragmentación.

El dispersante está compuesto por una parte hidrofílica y una parte oleofílica, por tanto, una parte con afinidad al agua y otra al hidrocarburo. Gracias a esto las moléculas tensoactivas rodean a las pequeñas gotas de hidrocarburo ayudando a la dispersión de este.

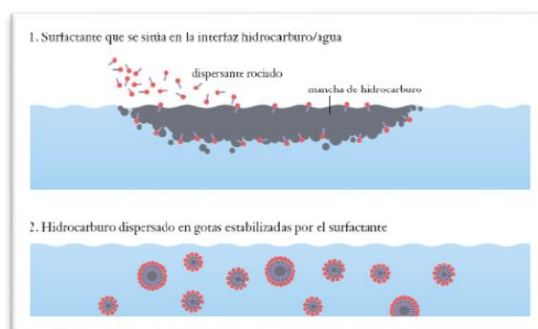


Ilustración 53 Acción del dispersante; Fuente:

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3935/Pablo%20Casado%20Ferreiro.pdf?sequence=1>

Tipos.

Convencionales: Están formados por una base acuosa y tienen entre un 15 y un 25% de surfactantes. Se utilizan sin diluir en proporciones con el hidrocarburo de entre 1:1 y 1:5.

Concentrados: Están formado por una base de alcohol o glicol y una gran concentración de ingredientes activos. Se emplean en relaciones de 1:5 y 1:30.

Aplicación.

Los dispersantes pueden aplicarse en alta mar con rociadores desde buques o desde aeronaves, en el caso de líneas de costa también pueden sumársele medios terrestres, pero en todos los casos se han de tener en cuenta los costes, la climatología y los medios de que se dispongan.



Ilustración 55 Buque descargando dispersante; Fuente: http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/p ecmar/anejo_09/Doc_05%20Dispersantes.pdf



Ilustración 54 Helicóptero con sistema de rociado portátil de dispersante; Fuente: http://img.nauticexpo.es/images_ne/photo-g/32656-9761353.jpg

Ventajas e inconvenientes.

Ventajas	Inconvenientes
Pueden trabajar en cualquier condición ambiental y marina	Si se dispersan grandes cantidades de petróleo, esto puede afectar gravemente a áreas sensibles y a la flora y fauna de la zona
Facilita la biodegradación del vertido	No sirven en hidrocarburos pesados
Es un método relativamente barato	Al dispersarse el derrame, es más complicado de recolectar
Dilución rápida del hidrocarburo evitando la contaminación de algunas áreas	Si se aplica en playas, el dispersante junto al hidrocarburo puede penetrar en la arena, complicando su recogida

3.12. Incineración controlada de derrames.

La quema intencionada de derrames de hidrocarburo puede llegar a ser un método bastante eficaz de eliminar grandes volúmenes de vertido. Al no ser necesario la manipulación, tratamiento, etc. Se hace además una forma sencilla desde un punto de vista logístico. Se suele quemar con éxito la mayor parte del vertido siempre y cuando la mancha tenga un espesor determinado y haya pasado relativamente poco tiempo tras el derrame ya estos se suelen quemar con relativamente más facilidad debido a su bajo contenido en agua (inferior del 25%). Además de esto, también existen factores como el viento o las olas que pueden impedir la correcta quema del hidrocarburo vertido. Para la incineración del petróleo se necesita que este llegue al punto de inflamación y para que la combustión se mantenga y las llamas se propaguen, la mancha debe de llegar a un punto en que la velocidad de la vaporización sea igual o superior a la de combustión. Al cabo del tiempo la quema irá reduciendo la superficie del derrame y por tanto su capacidad para aislarse con el agua, dando así la extinción del hidrocarburo.



Ilustración 56 Quema controlada de hidrocarburo; Fuente: http://www.oilspillresponseproject.org/wp-content/uploads/2017/02/Controlled-in-situ-burning_SP.pdf

Desarrollo de la operación.

Antes de la quema controlada del hidrocarburo en alta mar se ha de contener mediante el uso de barreras remolcadas por buques capaces de esta tarea, en la formación "U" vista en el apartado de barreras. Para esta misión se han de utilizar barreras ignífugas capaces de contener el derrame a medida que este se queme.

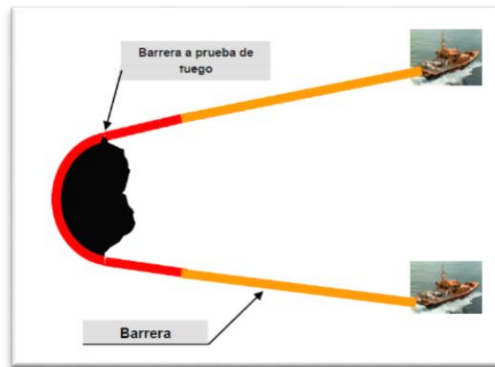


Ilustración 57 Contención de un vertido para su incineración; Fuente: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3935/Pablo%20Casado%20Ferreiro.pdf?sequence=1>

Ventajas e inconvenientes.

Este método, aunque eficaz a lo que a eliminación se refiere, es bastante controvertido por los daños que llegan a ocasionar a los seres vivos cercanos y la gran nube negra que forma la quema de petróleo.

Ventajas	Inconvenientes
Rápida eliminación del vertido	Gran impacto visual por el humo
No se necesita un gran despliegue de medios	Efectos nocivos para las poblaciones cercanas
Se puede usar con la mayoría de los hidrocarburos	Al calentarse la superficie del agua altera el hábitat de muchas especies de la zona
Gran eficiencia	Riesgo de descontrol de la incineración

IV. Material y método

4.1. Row-Bot. El robot que se come la contaminación.

Éste es un nuevo proyecto para un sistema de organismo artificial energéticamente autónomo, que combina dos subsistemas; el primer subsistema muestra la capacidad de generar energía para el robot. El segundo sistema muestra un accionamiento para repostar y moverse con un requerimiento energético que es menor que la energía generada por el primer sistema. Este trabajo que lleva a cabo la universidad de Bristol³, es la primera demostración de energía autónoma en una pila de combustible microbiana o MFC (Microbial Fuel Cell). Este robot toma la energía necesaria para su funcionamiento del ambiente acuoso circundante, es decir, mediante la ingestión de la energía química contenida en su entorno, lo que ayuda al metabolismo microbiano dentro de la MFC y, por tanto, el robot tiene una autonomía completa siempre que haya suficiente energía disponible en el fluido.

La inspiración para este nuevo proyecto se sacó del escarabajo llamado "Corixidae o Barquerito" , en éste nuevo estudio conceptual, se abren muchas vías para el desarrollo posterior de los subsistemas que comprenden el Row-Bot y de la funcionalidad del propio robot en sí.

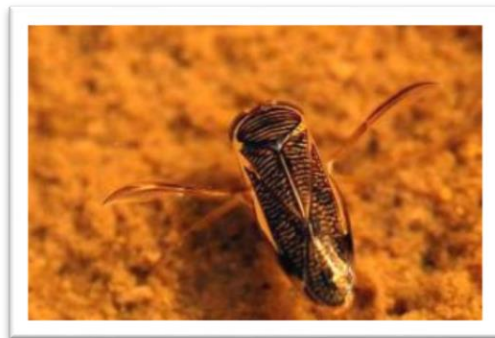


Ilustración 58 Corixidae o Barquerito; Fuente: <https://en.wikipedia.org/wiki/Corixidae>

A diferencia de los anteriores trabajos que se han hecho sobre fuentes de alimentación basadas en MFC, el Row-Bot tiene una única pila de combustible microbiana muy similar a un estómago artificial y utiliza un hardware de aumento de voltaje para producir mayores tensiones de energía.

Con la producción de energía y actuación se demuestra la combinación de los subsistemas que producen energía autónoma en circuito cerrados. El trabajo muestra un paso crucial en el desarrollo de robots autónomos capaces de autoabastecerse en un lugar cualquiera por sí mismos.

³ Creadores: Hemma Philamore, Jonathan Rossiter, Andrew Stinchombe y Ioannis Ieropoulos.

Un reto importante en la investigación robótica es extender el tiempo para que los robots sean capaces de funcionar de manera autónoma y sin necesidad de asistencia humana. Un factor clave es la demanda de energía de un sistema robótico. La mayoría de los robots requieren de recarga o reabastecimiento de combustible, que a menudo, requieren de participación humana. La autonomía energética ampliará la gama de funcionamiento de sistemas autónomos en campos como la exploración marina y espacial, el tratamiento de entornos contaminados y el control remoto en el medio ambiente. Esto es particularmente beneficioso para reducir la necesidad de presencia humana en ambientes hostiles como en las zonas de máxima contaminación que se puedan llegar a dar.

Si miramos a la naturaleza, el forraje presenta una solución prometedora para alimentar robots autónomos. Un ejemplo puede ser, los robots *Symbiotic Machine*, un robot experimental que flota y que utiliza algas marinas para proporcionarle electrolitos para la reacción redox entre los electrodos de cobre y oro de su celda galvánica. La electricidad generada se utiliza para alimentar la disgregación motorizada de algas para la propulsión. Sin embargo, el electrolito de sacrificio requerido para la reacción significa que el sistema acabará degradándose gradualmente. El uso de MFCs para impulsar robots como el *Gastrobot*⁴ y la serie de robots *Eco-Bot* demuestran que se puede utilizar una relación simbiótica bacteriana para generar electricidad minimizando su impacto ambiental.

En un MFC, la carga eléctrica se genera utilizando electrones movilizados por la reacción redox que tiene lugar en el anabolismo⁵ bacteriano electrógeno. Esta carga se puede almacenar y se puede utilizar para el funcionamiento pulsado de actuadores electromecánicos, sensores y sistemas de comunicación. La biomasa orgánica se utiliza tanto como un inoculante para el cultivo bacteriano, como para el ánolito que alimenta la reacción eléctrica ambientalmente biocompatibles. La relación entre el tipo de sustrato concentrado y la producción eléctrica ha sido objeto de varios estudios. La tecnología MFC ha sido demostrada usando inóculo y ánolito de una gama para ambientes acuáticos naturales como los que existen en el agua de mar, sedimentos marinos, agua dulce y aguas residuales, por lo que es adecuado para alimentar robots en ambientes fluidos. Además, la tecnología MFC se ha demostrado en el tratamiento del agua con contaminantes tales como productos petroquímicos y aguas residuales, extrayendo energía.

⁴ Robots anteriores que el Row-Bot y cuyo funcionamiento quedó demostrado exitosamente.

⁵ Conjunto de procesos metabólicos en los cuales se produce la síntesis de moléculas a partir de otras más simples.

4.1.1. Diseño del Row-Bot.

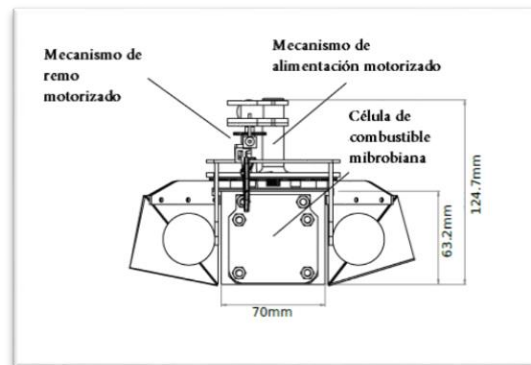


Ilustración 59 Diseño lateral del Row-Bot; Fuente: https://www.researchgate.net/publication/308866083_Row-bot_An_energetically_autonomous_artificial_water_boatman

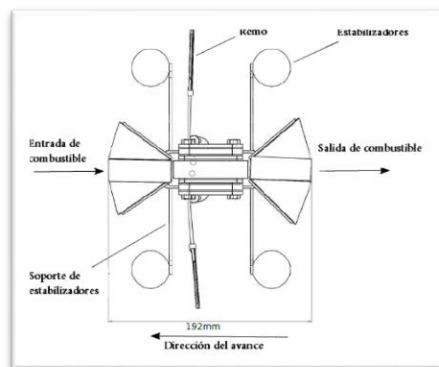


Ilustración 60 Vista superior del Row-Bot; Fuente: https://www.researchgate.net/publication/308866083_Row-bot_An_energetically_autonomous_artificial_water_boatman

Para demostrar el funcionamiento robusto del Row-Bot se eligió un ambiente fluido determinado, donde había abundante material biológico suspendido en el ambiente. Este entorno es el hábitat natural de los escarabajos del agua, que nadan boca abajo. Los mecanismos de propulsión de estos organismos han sido ampliamente estudiados para la construcción de submarinos, debido a su alta eficiencia y velocidad, que implica batir simultáneamente sus patas traseras. El mecanismo de propulsión de aletas laterales del insecto *Corixidae*, se seleccionó sobre los otros escarabajos estudiados ya que se adaptaba mejor a la morfología del estómago MFC. La configuración comprendía un diseño especial alimentado por lotes establecidos para un estilo analítico cuboide, adaptado para incluir aberturas de boca ancha en sus extremos anteriores y posteriores para barrer el fluido de su entorno. Imitando el mecanismo de alimentación del *Corixidae*, el Row-Bot emplea una amplia boca para barrer tanto el líquido como las partículas en suspensión, y moviéndose gracias a dos conjuntos de brazos en la parte posterior y anterior del robot a través de un ángulo de 67 grados.

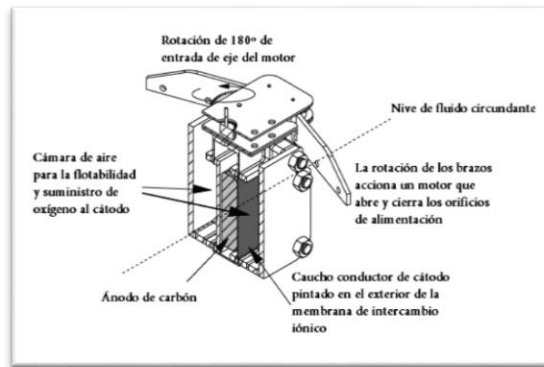


Ilustración 61 Vista de la sección de la célula de combustible microbiana (MFC); Fuente: https://www.researchgate.net/publication/308866083_Row-bot_An_energetically_autonomous_artificial_water_boatman

El Corixidae flota en la superficie del agua atrapando bolsas de aire en su tórax, debajo de sus alas para respirar cuando se sumerge. Para emular esto, el Row-Bot tiene dos cámaras de aire, cada una de un volumen de 29.9cm³, para dar flotabilidad y para proporcionar oxígeno al cátodo. Los orificios de entrada de aire y el orificio de alimentación (cuando están cerrados) permanecen sobre la superficie del fluido. También se añadieron flotadores de poliestireno a ambos lados del robot para darle estabilidad.

Para la propulsión del Row-Bot se utilizan un par de remos de 71mm de longitud, impulsados por un movimiento de ataque a la superficie del agua, de rango angular de +19,5 a -19,5 grados. El mecanismo del remo está accionado por un sistema de rotación de retorno rápido, con dos accionamientos de manivela acoplados por engranajes. Esto hace que se extiendan las patas lateralmente durante la carrera de potencia y las retrae durante la carrera de recuperación para cambiar su posición angular con respecto a la superficie del fluido en el que esté.

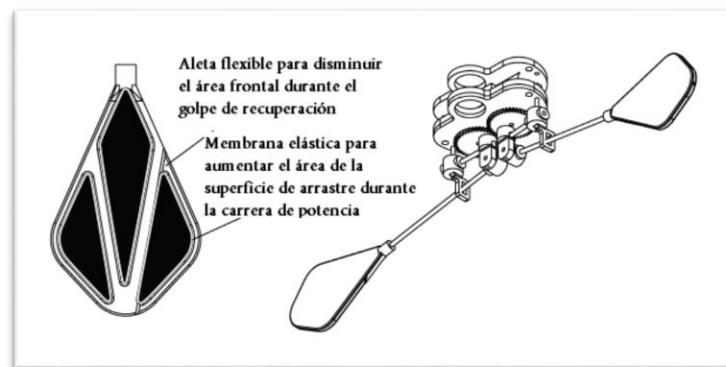


Ilustración 62 Diseño de las aletas; Fuente: https://www.researchgate.net/publication/308866083_Row-bot_An_energetically_autonomous_artificial_water_boatman

Las patas del *Corixidae* están cubiertas por cabellos que se extienden lateralmente para maximizar la resistencia durante la carrera de potencia y minimizar la resistencia durante el golpe de recuperación. El diseño de las paletas del Row-Bot se inspiró en este mecanismo. Cada paleta se realizó como una estructura compuesta, impresa en una impresora 3D que soportaba una membrana elástica que se estira para aumentar la superficie de la paleta durante la carrera de potencia. Además, la membrana elástica forma una bisagra que cambia el ángulo de ataque de la parte de la pala que permanece sumergida durante la carrera de recuperación, para reducir su área frontal.

4.2. Método de separación magnética para vertidos de hidrocarburos.



Ilustración 63 Pruebas experimentales en el MIT; Fuente:

https://img.newatlas.com/magnetic_oil_separation.jpg?auto=format%2Ccompress&ch=Width%2CDPR&crop=entropy&fit=crop&h=347&q=60&w=616&s=e0a30751d2825734c4486fe86aeb246e

Este método de separación que se explica a continuación, es un trabajo llevado a cabo por el MIT⁶, basado en un proceso de separación magnética de cinco pasos para la limpieza de derrames de petróleo que maximiza la recuperación de aceite. Estos cinco pasos son:

1. Bombear la mezcla de hidrocarburo/agua a una instalación de tratamiento que se encuentre en un buque.
2. Agregar nanopartículas magnéticas oleofílicas e hidrofóbicas a la mezcla hidrocarburo/agua en la instalación del buque.
3. Utilizar una matriz optimizada de imanes permanentes para separar de forma limpia el aceite magnético del agua.

⁶ Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnología de Massachusetts)

4. Una vez que el aceite se separa del agua, se usa la presión de succión para mover el fluido magnético a través de un separador magnético de alto gradiente para eliminar las nanopartículas magnéticas del aceite para su reutilización. El agua limpia puede ser devuelta al océano.
5. Cuando el aceite está libre de partículas magnéticas y agua, puede ser dirigido a una tubería para su transporte a una refinería de petróleo u otros lugares.

Los usos de fuerzas magnéticas significativamente altas motivan el uso de una metodología de separación magnética para aumentar la eficiencia de recuperación de petróleo en un derrame. El uso de métodos magnéticos para la limpieza de derrames de petróleo se ha explotado antes, pero sus implicaciones anteriores se limitaron a varias consideraciones prácticas. En este nuevo trabajo del MIT¹, se describe un sistema mejorado que permite un sistema de separación de aceite continuo, ambientalmente seguro y eficiente energéticamente que podría mejorar significativamente las tecnologías actuales de limpieza de derrames de petróleo.

Para el estudio y creación de este nuevo sistema se ha pensado en varios objetivos a tener en cuenta:

- Los materiales han de ser continuos, reutilizables y ambientalmente seguros.
- Debe ser robusto en un entorno marino.
- Debería de funcionar cuando hay una cantidad variable de aceite y agua en la mezcla.

4.2.1. Mejora de separación magnética.

Paso 1. Recolección de la mezcla agua-aceite. La tecnología actual de los skimmers funciona bien en aguas tranquilas, pero en aguas turbulentas, el porcentaje de aceite recuperado se reduce debido a la recolección de agua y aire, además de petróleo. En cualquier caso, el agua y el aceite recolectados se envían mediante un sistema de bombas a un espacio confinado dentro del buque donde se realiza la separación magnética de aceite y agua.

Paso 2. Magnetización de una de las dos fases líquidas. Un requisito importante es llevar a cabo la etapa de magnetización en un buque para eliminar el potencial ambiental de la dispersión de materiales magnéticos en las aguas abiertas, además de reducir el material magnetizante reciclable debido a las corrientes del viento y el agua. Este paso implica magnetizar la fase de aceite o de agua usando métodos químicos ya que, en principio, se puede seleccionar cualquiera de las fases para ser magnetizadas, pero la magnetización de la fase oleosa tiene la ventaja de utilizar menos cantidad de material magnetizable. Hay

amplias tecnologías químicas disponibles para magnetizar la fase de aceite o agua para la recuperación de derrames de petróleo.

Paso 3. Primera separación magnética. Separación de aceite magnético y agua no magnética, o separación de agua magnética de aceite no magnético. Este siguiente paso es transportar la mezcla aceite-agua a un aparato de tratamiento que utiliza un nuevo método de separación magnética para separar la fase magnética de la fase líquida no magnética. En el pasado, se ha sugerido que los electroimanes separan una fase de aceite flotante en el agua. Sin embargo, utilizamos una nueva técnica de separación de imanes permanentes para separar una mezcla de fase líquida magnéticas y no magnéticas, en el caso de este estudio, aceite y agua; donde la fase de aceite es atraída por el polo magnético cilíndrico que sobresale por encima de la interfase aceite-agua. Los imanes permanentes están dispuestos de tal manera que el fluido magnético sólo puede ser atraído hacia el polo magnético superior, y no por el polo inferior opuesto, que se extiende por debajo de la cámara que contiene la mezcla de aceite y agua. Una configuración de flujo magnético unilateral también puede aumentar la eficacia de la separación. Este aparato separa claramente los líquidos magnéticos de los no magnéticos.

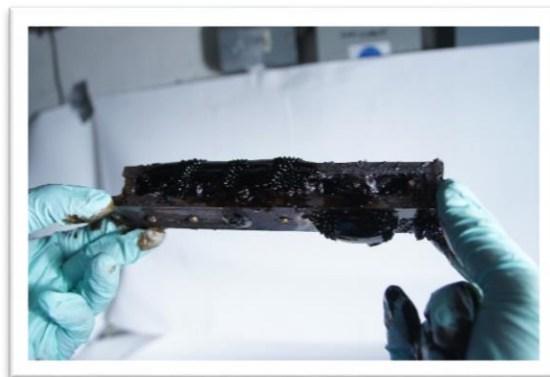


Ilustración 64 Aceite magnetizado; Fuente:

https://img.newatlas.com/magnetic_oil_separation.jpg?auto=format%2Ccompress&ch=Width%2CDPR&crop=entropy&fit=crop&h=347&q=60&w=616&s=e0a30751d2825734c4486fe86aeb246e

Paso 4. Segunda etapa de separación magnética. Eliminación de nanopartículas magnéticas de la fase líquida que interesa recoger. La etapa de separación magnética previa separa una mezcla de una fase líquida magnética de una fase líquida que no lo es. Ahora que la fase magnética ha sido separada, las partículas magnetizadas pueden ser recuperadas utilizando un separador de alto gradiente y luego reutilizadas para el paso 2, y hacer que las fases de aceite o agua sean magnéticas. Al eliminar las

nanopartículas magnéticas, pueden ser reutilizados en un proceso continuo para separar el aceite adicional de agua.

Paso 5. Almacenamiento y eliminación. Los pasos individuales 2-4 se pueden repetir varias veces para aumentar la eficiencia del aceite separado y del agua si fuera necesario. El aceite procesado se puede almacenar a bordo de un buque en cambio, el agua limpia es liberada de nuevo al océano.

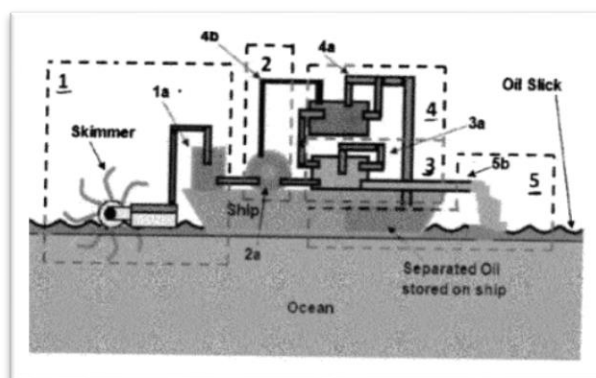


Ilustración 65 Esquema del sistema; Fuente: <https://www.google.com/patents/US20120211428>

4.3. Wave Glider® (Planeador de olas).

El océano es un entorno operativo grande, complejo y duro. La recopilación de datos a lo largo del tiempo ha sido difícil y costosa, y cuanto más lejos de la costa la operación, mayor es el costo y el riesgo. Puede costar millones de euros obtener sólo, científicos o boyas en proyectos offshore. Dado los altos costos operacionales y de mantenimiento de las soluciones tradicionales, los reguladores y administradores de recursos, frecuentemente carecen de herramientas rentables para recopilar datos antes, durante y después de la finalización de un proyecto. Esta falta de datos puede resultar en demoras, cancelación de proyectos o regulaciones ineficaces. Los enfoques



tradicionales para el monitoreo de los océanos involucran el uso de buques, boyas o satélites, que sufren de numerosas limitaciones como vamos a ver:

- Buques: La elección preferida por largo tiempo de los científicos y la industria. Los buques de investigación equipados para ello, son plataformas altamente móviles con una amplia capacidad

para los científicos y sus equipos. Sin embargo, también son extremadamente costosos de operar. Los costos de alimentos, combustible y personal pueden superar los 20,000€ por día. Estos altos costos de operación limitan la frecuencia y duración de las misiones. En el mejor de los casos, las misiones tripuladas pueden proporcionar datos útiles durante períodos de tiempo relativamente cortos. Pero no son económicamente adecuados para recopilar datos continuos y en tiempo real durante largos períodos de tiempo. Las operaciones localizadas lejos de la costa son aún más costosas de monitorear desde un buque.

- Boyas: Las boyas habilitadas por sensores proporcionan el beneficio de la recolección continua de datos desde una ubicación fija, superando así las limitaciones de densidad temporal de las misiones tripuladas. Sin embargo, se limitan a medir las condiciones dentro de un área relativamente pequeña, y pueden ser costosas de desplegar y mantener. El costo de compra y despliegue de una red de boyas estacionarias, a menudo comienza en millones de euros y aumenta con las complejidades (por ejemplo, cuán lejos de la costa), el riesgo y las ambiciones del despliegue. Además, puede tomar meses para reparar boyas, lo que puede reducir el tiempo de actividad de una red de boyas.
- Satélites: Los satélites, estos ofrecen la ventaja de áreas de cobertura extremadamente grandes, pueden ser una plataforma útil para monitorear las condiciones de la superficie del océano. Pero pueden tener resoluciones muy bajas (del orden de 1Km²), además de que pueden ser susceptibles a las condiciones atmosféricas como la cubierta de nubes y el ángulo del sol, además de la incapacidad de medir las condiciones bajo la superficie.

El WG es un vehículo marítimo no tripulado único en su capacidad de aprovechar la energía de las olas oceánicas para la propulsión de la plataforma. Este sistema de muestreo autónomo utiliza una serie de alas situadas en un sub-cuerpo a 5,8 metros por debajo de la superficie del mar para impulsar el vehículo hacia adelante, utilizando el movimiento vertical inducido por el movimiento de la onda, independientemente de la dirección de la ola. El sistema de propulsión de la energía de las olas es puramente mecánico. A medida que las ondas pasan por la superficie, el planeador sumergido actúa como un remolcador, tirando de la superficie y flotando a lo largo de un curso predeterminado. Además, cuenta con una pequeña hélice que se mueve con la energía obtenida por las placas solares del flotador.

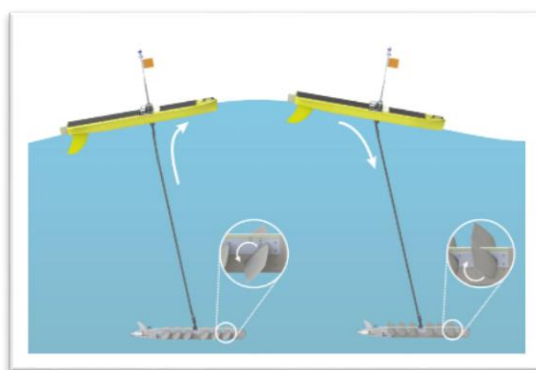


Ilustración 66 El Wave Glider mueve las alas para impulsarse; Fuente: <http://www.lynceans.org/wp-content/uploads/2016/05/Wave-Glider-propulsion-scheme.png>

Hay una potencia considerable disponible en las olas oceánicas, de modo que el Wave Glider aprovecha parte de esta potencia para mantener una velocidad promedio de avance de 0,4 a 1,5 nudos, dependiendo del estado del mar. Esta energía se puede utilizar para que la locomoción llegue a cualquier punto de interés, así como para mantener la estación, una vez que se alcance esa posición. El vehículo consiste en un flotador de superficie de perfil bajo equipado con paneles solares que proporcionan energía para los sistemas de muestreo, sistemas de navegación (transmisiones por satélite GPS) y enlaces de telemetría por satélite. La placa subsuperficial está conectada a la carga útil de la superficie mediante una correa (umbilical). La comunicación en tiempo real con el operador en tierra permite monitorear la ubicación de la plataforma y la recolección de datos.

Dimensiones del flotador	2,1m x 0,6m
Dimensiones del planeador	1,9m x 0,4m
Alas	1,1m total
Durabilidad	Aproximadamente 1 año
Propulsión	Energía de las olas
Velocidad	Sobre los 3 nudos
Potencia útil	10W
Sistema de comunicación	Iridium
Sistema de navegación	12 Canales, GPS y Compás
Dispositivos de emergencia	Luz y faro RF

Tabla 3 Características del Wave Glider; Fuente: <http://www.lynceans.org/wp-content/uploads/2016/05/Wave-Glider-propulsion-scheme.png>

En septiembre de 2012 se quiso probar el Wave Glider en una zona del Mar Tirreno cerca de Italia, recolectando datos por medio del WG y acoplarlos a un conjunto de datos por satélite para evaluar la funcionalidad del WG sobre el Mar Tirreno meridional y evaluar la capacidad de sus observaciones in situ para complementar, a una escala espacial refinada, datos sobre las corrientes y características de esas aguas,

lo cual es muy útil para analizar posibles vertidos de petróleo, o para averiguar hacia donde podría moverse un posible vertido.

El viaje del WG duró 14 días cubriendo una gran parte del Mar Tirreno meridional. De acuerdo con la estructura de otros conjuntos de datos in situ, los datos recogidos deben dividirse en diferentes subconjuntos para garantizar su representación sinóptica. El conjunto de datos WG de septiembre de 2012 se dividieron en tres partes principales:

1. La primera etapa del 12 al 15, el WG toma rumbo hacia el sur desde el Golfo de Nápoles.
2. La segunda etapa del 15 al 22, se refiere al seguimiento de la subregión de la Cuenca Marítima de Marsili.
3. La tercera del 22 al 26, corresponde al WG hacia el norte, hacia el Golfo de Nápoles.

V. Resultados

5.1. Resultados del Row-Bot.

Los resultados llevados a cabo por la universidad de Bristol, muestran una potencia de la combinación de los subsistemas de generación y actuación de energía en un robot energéticamente autónomo. El Row-Bot resultante, de todos los experimentos que se llevaron a cabo por esta universidad, hacen que se pueda desarrollar para aplicaciones tales como teledetección y monitorización ambiental, así como para la limpieza de medios marinos. El aislamiento eléctrico de ambos electrodos en el Row-Bot del medio acuoso significa que varios MFC podrían configurarse en serie para lograr tareas que requieran de un voltaje mayor.

Los diseños futuros en este proyecto podrían reducir la resistencia del cuerpo del prototipo para aumentar su eficiencia propulsora emulando aún más la morfología del *Corixidae*. Esto podría incluir la bajada en la proporción de resistencia del cuerpo a las paletas del escarabajo y su piel hidrófoba.

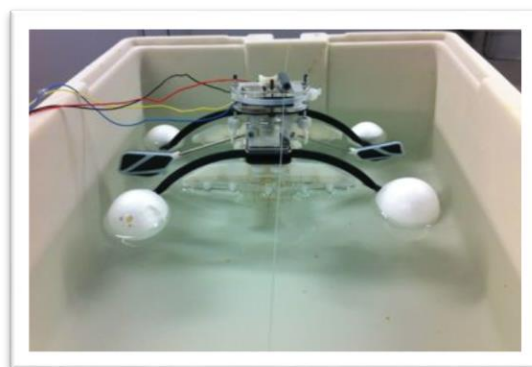


Ilustración 67 Pruebas del Row-Bot; Fuente: <https://wi-images.condecdn.net/image/w4NmK4ADxIL/crop/405>

Un trabajo futuro también podría explotar este comportamiento para mejorar la eficiencia electromecánica del sistema, lo cual podría lograrse utilizando un hardware de regulación de voltaje, que también proporcionaría un control de velocidad del motor más preciso que la descarga directa del condensador usada para alimentar el actual prototipo, a expensas de la energía utilizada en el circuito regulador. El estudio también demuestra el uso de impresoras 3D para fabricar materiales con mayor rigidez.

Para acabar, el estudio presentado por Hemma Philamore, Jonathan Rossiter, Andrew Stinchombe y Ioannis Ieropoulos (Sus creadores), muestra un sistema variable para su uso como robot autónomo energéticamente independiente. Para demostrar esto, se utilizó un sistema modular para demostrar rigurosamente los mecanismos anabólicos, propulsores y de alimentación en un organismo artificial. También se demostró que la energía generada se excedía de la energía requerida para reposar.

Por tanto, esta es la primera aplicación robótica práctica para usar un solo MFC, que demuestra el potencial de la tecnología como fuente de energía y, por consiguiente, demuestra que un robot que funciona con esta tecnología puede funcionar de forma autónoma durante un periodo de tiempo prolongado en el entorno y presenta muchas vías para el desarrollo de futuros robots contra la contaminación.

5.2. Resultado de la separación por magnetismo.

La eficiencia de recuperación de petróleo utilizando las tecnologías actuales de limpieza de derrames de petróleo se puede mejorar en gran medida mediante la cascada de la mezcla de aceite/agua recogida con esta nueva técnica de separación magnética, como se vio en el experimento realizado. En la realización del experimento, la fase de aceite recogida se magnetizaba en un área confinada usando nanopartículas magnéticas inocuas para el medio ambiente con ácido oleico y otros tensoactivos seguros.

Gracias a la confinación de la magnetización etapa 2, también permitió una pérdida mínima de material en comparación con la dispersión del material magnético en aguas abiertas. La fase magnética se separó de la fase líquida no magnética utilizando un nuevo separador de imán permanente, que no requiere de energía externa. Las nanopartículas magnéticas se separaron de la magnética utilizando un sistema nuevo de separadores magnéticos continuos que permite el reciclado de las nanopartículas magnéticas. Estas etapas pueden repetirse para aumentar la eficiencia de recuperación de aceite y minimizar el aceite que queda en el agua.



Ilustración 68 Proceso de separación; Fuente:
https://www.researchgate.net/publication/286314527_Magnetic_separation_method_for_oil_spill_cleanup

El método de separación magnética de cinco pasos descrito sería un complemento eficaz a las tecnologías actuales de derrames de petróleo que incrementa su eficiencia de recuperación de petróleo.

5.2.1. Daño medioambiental.

Una buena razón para magnetizar una fase en un área confinada es evitar la pérdida de material magnético si se dispensara en aguas abiertas, por no mencionar, los posibles daños ambientales y la pérdida de material magnético reciclable. La adición de un ferrofluido a base de hidrocarburo al ya derramado, si no se recuperara al 100% sería grave. Otra ventaja de este método propuesto por el MIT, es el uso de imanes permanentes para los pasos 3 y 4 a diferencia de los electroimanes que requerirían del transporte de una fuente de energía significativamente grande al sitio del derrame de petróleo, que puede ser realmente peligroso en un ambiente marino.

Gracias a este método, las nanopartículas magnéticas recuperadas dejarían el aceite separado útil para refinar y las nanopartículas magnéticas pueden ser reutilizadas para magnetizar el aceite más recolectado. Por tanto, el experimento que realizaron fue muy exitoso, dando buenos resultados para seguir estudiando este prototipo.

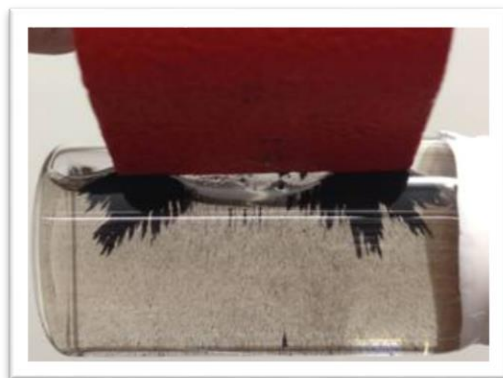


Ilustración 69 Muestra del comportamiento de la mezcla; Fuente: http://posters.unh.edu/media/uploads/previews/thumbnail/pbw9_NH249DY3N.pptx.jpg

5.3. Resultados del Wave Glider®

5.3.1. Propiedades ópticas del agua de mar a través del WG y un satélite.

Las observaciones de fluorómetro son difíciles de interpretar. Los datos recogidos sobre la concentración de combustibles refinados y turbidez fueron como se esperaban. Un análisis cualitativo de estos datos que muestra que un gradiente negativo está presente para todos los parámetros investigados cuando el WG se mueve desde el interior del Golfo de Nápoles hasta el mar abierto. Esto se observa tanto en el viaje 1 como en el viaje 3. No existen otros patrones significativos a lo largo de la pista del WG para las concentraciones

de combustibles refinados, excepto para los valores relativamente más altos observados en la esquina noreste de la subregión Marsuili Seamount.

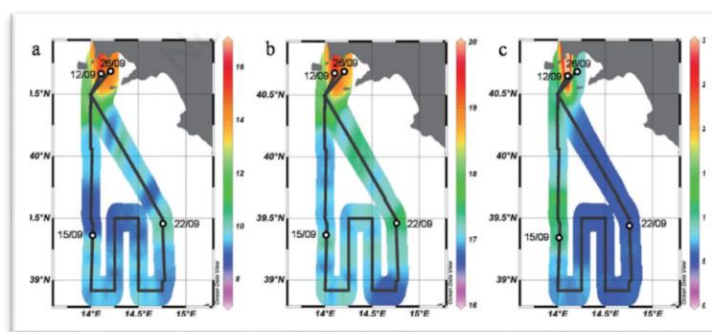


Ilustración 70 Todos los datos fueron recogidos con el mismo sensor y expresados en términos de fluorescencia relativa; Fuente: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/5682-21911-4-PB.pdf

Se debe subrayar que, por su diseño, el WG es propulsado en la superficie como una tabla de surf y se crean burbujas de todos los tamaños que rodean a lo largo de la parte inferior al flotador. Las microburbujas son de especial preocupación ya que no ascenderán rápidamente y probablemente representarán una fuente de ruido para los parámetros del WG sobre la turbidez del agua. En cuanto a la comparación entre los datos obtenidos de los combustibles refinados por el WG, y los productos de los datos recibidos por el satélite, se aplicó un enfoque especial para captar hidrocarburos en el mar. Los resultados mostraron que no se observaron derrames de petróleo intensos en los datos del WG, y muchas veces los datos coincidían para ambos sistemas. Por tanto, en este aspecto el WG, es una buena herramienta para la detección de la turbidez y de combustible en el mar.

5.3.2. Monitorización de la temperatura superficial del mar.

Para esta monitorización también se utilizó tanto el Wave Glider como un satélite para medir la temperatura del agua y comparar resultados aportados por ambos sistemas. En primer lugar, cabe destacar, que las mediciones obtenidas por el WG fueron más un tipo de SST⁷ a granel que de superficie. El flotador tiene una sonda CTD⁸ debajo de él, que proporcionó una información proporcional a unos 5,8m de profundidad.

Se observó una separación clara entre los datos nocturnos (más fríos) y las mediciones más calurosas del día, con un rango más amplio de variabilidad (casi 2°C) para los datos diurnos respecto a los nocturnos

⁷ SST, Sea Surface Temperature: Sistema satelitario para medir la temperatura de la superficie del mar.

⁸ CTD, Sonda para medir la conductividad, temperatura y profundidad.

(1,3°C). Gracias al SST se calculó en todas partes, independientemente de la presencia de nubes y de marcador con un indicador de calidad, que indicó la exactitud de la información SST. Para evitar la contaminación de píxeles de nubes en el siguiente análisis, sólo se han considerado los datos del SST caracterizados por una pequeña posibilidad de presencia de nubes. Los productos MODIS⁹ que pasaron este filtro fueron co-ubicados en la trayectoria de WG. Durante una operación de este tipo, teniendo en cuenta la pequeña variabilidad del WG con el SST a corto plazo, se han comparado el promedio temporal SST y el WG calculado en una ventana de tiempo de ± 2 horas con respecto a la adquisición del tiempo MODIS. Desafortunadamente, no se disponía de productos MODIS SST útiles durante la mayor parte de viaje 1. A pesar de ello se observó un buen acuerdo entre el SST y el WG, y una buena discriminación entre los datos diurnos y nocturnos además de una variabilidad similar. Este resultado se confirmó aún más mediante la realización de un análisis de correlación entre el WG y los productos satelitales, lo cual dio con una discrepancia máxima de 0,7 ° C asumibles.

Sin embargo, es importante señalar que la SST es un parámetro complicado para definir con precisión, como es la temperatura del océano en la capa superior (es decir, los primeros 10 m) ya que tiene una estructura de temperatura vertical compleja y variable que está relacionada con la turbulencia oceánica y los flujos de calor aire-mar, humedad, etc. Esto es importante a la hora de comparar (o combinar) observaciones hechas por diferentes satélites e instrumentos *in situ* que miden temperaturas de 10-20 μm y pocos metros (o centímetros) respectivamente. Por otra parte, las temperaturas en todas las profundidades colapsan al mismo valor antes del amanecer local.

El análisis estadístico señaló que las mediciones de WG se correlacionaron más linealmente con la SST de resolución ultra-alta, y por tanto estos resultados confirman el potencial del WG en devolver, con una resolución espacial refinada, patrones de SST que son consistentes con los observados por satélite a una escala más amplia y resolución más gruesa.

⁹ MODIS, Espectrorradiómetro de imágenes de media resolución.

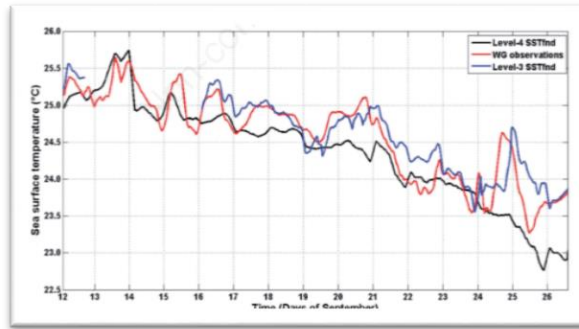


Ilustración 71 Comparación entre los datos de temperaturas aportados por el SST y el WG; Fuente: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/5682-21911-4-PB.pdf

Los resultados que se obtuvieron en la misión del mediterráneo fueron muy prometedores para este sistema de monitorización autónoma, salvo algunos inconvenientes de diseño aerodinámico y problemas al combinarse un satélite con el Wave Glider, la misión fue un éxito. Estos inconvenientes se solventarían años más tardes con un prototipo de Wave Glider mejorado, que, a fecha de hoy, aún no se ha probado en ninguna misión de monitoreo real porque aún siguen con los ensayos en escenarios de prueba.

VI. Conclusiones

En este trabajo fin de grado hemos podido ver las diferentes formas de localización que existen en la actualidad para poder ver y predecir los movimientos de una mancha de hidrocarburo que se haya podido verter en el mar. También, diferentes tipos de barreras para contener el vertido o moverlo de lugar, al igual que hemos visto algunos elementos y dispositivos de recogida del vertido o de la quema "in situ" de este.

Es bueno y tranquilizador, que a día de hoy la sociedad vaya tomando conciencia de nuestro impacto sobre el medioambiente y que busque nuevas soluciones a un problema de carácter global. Aunque esto sea cada vez más usual, también es cierto que a día de hoy se siguen generando vertidos y ocurriendo accidentes. Por tanto, es necesario buscar nuevas herramientas como las presentadas en este trabajo y mejorar las ya existentes, además de: formar a los profesionales que luchan contra la contaminación, y concienciar a la sociedad sobre los peligros derivados de estos desastres.

En este trabajo se ha hablado también de tres de los muchos inventos que existen. Pienso que se debería de hacer hincapié en estas nuevas tecnologías e invertir en nuevos proyectos de innovación, dado que muchos de ellos no sólo evitan la propagación de la contaminación, sino que, en ese proceso no originan daños para el medioambiente, como sí sucede, por ejemplo, con los dispersantes.

Bibliografía

1. José Ramón Bergueiro López y Félix Domínguez Laseca. La gestión de los derrames de hidrocarburos en el mar.
2. OMI. Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos. Parte IV. Lucha contra los derrames de hidrocarburos.
3. Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos. José María Silos Rodríguez. Universidad de Cádiz. Pág. 17 a 263.
4. MARPOL 73/78. Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques.
5. Ministerio de Fomento. Plan nacional de contingencias por contaminación marina accidental y criterios para la elaboración de los planes territoriales interiores.
6. OCEANA. El vertido de hidrocarburos desde buques a los mares y océanos de Europa.
7. Derrames de hidrocarburos al mar. Respel.
8. Real Decreto 1027/2006. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
9. Magnetic Separation Method for Oil Spill Cleanup. Markus Zahn. MIT.
10. Marine Environment Protection. Ali Cemal, Burak Koseoglu, Cenk Sakar.
11. Row-Bot: An energetically autonomous artificial wáter boatman. Universidad de Bristol.

Referencias Online.

12. The international tanker owners pollution federation limited (ITOPF). Planificación de contingencias para derrames de hidrocarburos en el medio marino.
13. Observación aérea de derrames de hidrocarburos en el mar. ITOPF.
14. Uso de barreras en la respuesta a la contaminación por hidrocarburos. ITOPF.
15. Dispersants: subsea application. IPIECA.
16. Las barreras anticontaminación contra los vertidos de hidrocarburos. Pablo Casado Ferreiro.
17. Sistema de gestión para vertidos de hidrocarburos en alta mar. Alejandro Orviz Gómez.
18. <http://navegaciongrupo7.blogspot.com.es/2011/06/caso-ixtoc-i-contaminacion-por.html>
19. http://www.mapama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/prevencion_y_vigilancia.aspx
20. <http://www.20minutos.es/noticia/1617114/0/claves/desastre/prestige/>
21. <http://www.abc.es/local-galicia/20131113/abci-mayor-catastrofe-ecologica-prestige-201311131211.html>
22. <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2016.01203/full>

23. https://www.academia.edu/28376933/Apuntes_sobre_el_derrame_del_Deepwater_Horizon
24. https://www.academia.edu/7488852/Accidente_del_DeepWater_Horizon_-_Golfo_de_Mexico_2010
25. <https://www.veoverde.com/2014/03/exxon-valdez-la-tragedia-que-aun-no-termina/>
26. <http://www.ecologistasenaccion.org/article22826.html>
27. http://oa.upm.es/1173/1/PFC_SERGIO_OLASO_DELGADO.pdf
28. http://www.oilspillresponseproject.org/wp-content/uploads/2017/02/Controlled-in-situ-burning_SP.pdf
29. http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/pecmar/anejo_09/Doc_06%20Absorbentes.pdf
30. http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/pecmar/anejo_09/Doc_06%20Absorbentes.pdf
31. http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/pecmar/anejo_09/Doc_05%20Dispersantes.pdf
32. [https://shop.imo.org/b2c_shop/base/relogin/getcookie/\(layout=7.0-7_1_66_61_69_6_9&care=0000000037&cit=00000000370000000015\)/.do](https://shop.imo.org/b2c_shop/base/relogin/getcookie/(layout=7.0-7_1_66_61_69_6_9&care=0000000037&cit=00000000370000000015)/.do)
33. <http://www.cetmar.org/documentacion/comportamiento.htm>
34. <http://www.salvamentomaritimo.es/sm/flota-y-medios/medios-aereos/aviones-de-salvamento-maritimo/?ids=358>
35. http://www.gobiernodecanarias.org/dgse/descargas/pecmar/anejo_09/Doc_03%20Barreras.pdf
36. <http://www.markleen.com/>
37. <http://www.wired.co.uk/article/water-row-bot-polluted-water-bristol-university>
38. <https://phys.org/news/2015-11-row-bot-dirty.html>
39. <http://ns.umich.edu/new/multimedia/videos/20706-oil-spill-cleanup-smart-filter-can-strain-oil-out-of-water>