

UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
SECCION DE NAUTICA, MAQUINAS Y RADIOELECTRONICA NAVAL

TRABAJO FIN DE GRADO.

DERRAMES DE HIDROCARBUROS:

SISTEMAS DE MODELACIÓN

SISTEMA MOHID

ANYA TIZIRI HABIBI NÚÑEZ

SEPTIEMBRE 2015

DIRECTOR

JOSÉ AGUSTÍN GONZÁLEZ ALMEIDA

JUAN I. GÓMEZ GÓMEZ


D. José Agustín González Almeida, Profesor asociado del área de conocimiento de Construcciones Navales, perteneciente al Departamento de Ciencias de la Navegación, Ingeniería Marítima, Agraria e Hidráulica de la Universidad de La Laguna certifica que:

D. Anya Tiziri Habibi Núñez, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: "Derrames de hidrocarburos: Sistemas de modelación".

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 21 de Septiembre de 2015.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'José Agustín González Almeida', with a long horizontal line extending from the end of the signature.

Fdo.: José Agustín González Almeida.

Director del trabajo.

D. Juan Imeldo Gómez Gómez, Profesor Titular del área de conocimiento de Ciencias y Técnicas de la Navegación, perteneciente al Departamento de Ciencias de la Navegación, Ingeniería Marítima, Agraria e hidráulica de la Universidad de La Laguna certifica que:

D. Anya Tiziri Habibi Núñez, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: "Derrames de hidrocarburos: Sistemas de modelación".

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 21 de Septiembre de 2015.



Fdo.: Juan Imeldo Gómez Gómez.

Director del trabajo.

INDICE

RESUMEN	1
OBJETIVOS	3
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 ANTECEDENTES DE LA CONTAMINACIÓN MARINA	5
1.2 CONTAMINANTES	6
1.3 IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES	7
1.4 ZONAS PROTEGIDAS, CANARIAS ZONA ESPECIALMENTE SENSIBLE	9
1.4.1 ZONAS RESTRINGIDAS A LA NAVEGACIÓN	10
1.4.2 RUTAS OBLIGATORIAS DE NAVEGACIÓN	11
1.4.3 SISTEMA DE NOTIFICACIÓN	11
1.5 CONTAMINACIÓN APLICADA AL TRANSPORTE MARÍTIMO	12
2. EL PETRÓLEO	15
2.1 COMPORTAMIENTO DEL PETROLEO EN EL AGUA	18
2.2 EXTENSIÓN Y DESPLAZAMIENTO DEL DERRAME	18
2.3 PROCESOS DE ENVEJECIMIENTO	19
3. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA EL DERRAME DE HIDROCARBUROS	23
4. PLAN DE CONTINGENCIAS POR DERRAME DE HIDROCARBUROS PARA BUQUES NO PETROLEROS	25
4.1. CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE	27
4.2 DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS	30
4.3 COMPOSICIONES Y FUNCIONES DEL EQUIPO DE PREVENCIÓN Y LUCHA CONTRA LA CONTAMINACIÓN	32
4.3.1. PROPUESTA DE FUNCIONES QUE HAN DE REALIZAR LOS COMPONENTES DEL "EQUIPO DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN"	36
4.3.2. CUADRO ORGÁNICO DE LOS EQUIPOS DE RESPUESTA	37
4.4. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	39
DURANTE LA NAVEGACIÓN:	39
ANTES DE LA LLEGADA A PUERTO:	40
EN FONDEADERO:	40
4.5 MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA LA TOMA DE COMBUSTIBLE	41
MISIÓN DEL PERSONAL DE A BORDO DURANTE LA DE TOMA DE COMBUSTIBLE	42
PRECAUCIONES ANTES DE INICIAR LA TOMA DE COMBUSTIBLE	44
PRECAUCIONES DURANTE LA TOMA DE COMBUSTIBLE	45
4.6 MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EL TRASIEGO DE COMBUSTIBLE	49
4.7. DERRAMES OPERATIVOS	51
VERTIDOS ACCIDENTALES DE POCA ENTIDAD	51

ROTURA DE TUBERÍAS	52
REBOSES DE TANQUES	52
ROTURA DE MAMPAROS INTERNOS DE TANQUES.	52
DAÑOS EN EL CASCO CON O SIN SALIDA DE HIDROCARBUROS AL MAR	53
4.8. DERRAMES DEBIDOS A SINIESTROS	55
EMBARRANCADA	55
TOQUE DE FONDO SIN EMBARRANCADA	57
INCENDIO O EXPLOSIÓN EN CÁMARA DE MÁQUINAS O TANQUES DE COMBUSTIBLE	58
ABORDAJE	59
ESCORA EXCESIVA	60
ESQUEMA GENERAL DE DECISIONES Y ACCIONES A TOMAR EN TODOS LOS CASOS	62
4.9. PROCEDIMIENTO DE NOTIFICACION EN CASO DE CONTAMINACION	63
6. SISTEMAS DE MODELACIÓN. MODELOS DE ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL DERRAME	71
6.1. SISTEMA MOHID	73
6.1.1 GENERALIDADES	73
6.1.2 HISTORIA Y DESARROLLO	74
6.1.3 DEFINICION Y FUNCIONAMIENTO	77
6.1.4 MODULOS DEL SISTEMA	80
6.1.5 DOMINIOS DE LA APLICACIÓN	81
6.1.6 SIMULACIÓN BAHÍA DE CAMPOS, BRASIL	83
CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFÍA DE CONTENIDO	93

TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Primera revolución Industrial. Imagen tomada del banco de imágenes del ITE: (http://recursostic.educacion.es/bancoimagenes/web/ II CC)</i>	6
<i>Ilustración 2. Vertido de aguas residuales. http://sineaquanon.com/vertidos-de-aguas-residuales/</i>	7
<i>Ilustración 3. Vertido de petróleo en el Golfo de México. http://www.nationalgeographic.es/noticias/medio-ambiente/el-oceano/vertido-golfo-mexico</i>	8
<i>Ilustración 4. Límites de la ZMES del Archipiélago Canario. Fuente: Revista Marina Civil.</i>	10
<i>Ilustración 5. Zonas a evitar y rutas obligatorias. Fuente: Revista Marina Civil.</i>	11
<i>Ilustración 6. Hundimiento del petrolero Torrey Canyon al sur de Inglaterra. http://home.bt.com/news/world-news/march-18-1967-environmental-disaster-feared-as-tanker-torrey-canyon-hits-rocks-off-cornwall-11363968852975</i>	12
<i>Ilustración 7. Plataforma petrolífera de perforación para aguas profundas del Golfo de México. https://es.wikipedia.org/wiki/Industria_petrolera</i>	15
<i>Ilustración 8. Tipos de Buques Petroleros. Elaboración propia con datos de Guillermo Ricardo (2004)</i>	17
<i>Ilustración 9. Representación proceso de envejecimiento del petróleo. http://biologiaygeologia.org/unidadbio/a_ctma/hidrosfera/contaminamar.html</i>	19
<i>Ilustración 10. Emulsión de aceite y agua. http://agroinconsu-ventos.webs.com/documents/Tema%20III.pdf</i>	21
<i>Ilustración 11. Submarinista limpiando gran capa de fuel en el fondo marino, Isla de Ons, Galicia. http://elpais.com/diario/2003/02/12/espana/1045004407_740215.html</i>	21
<i>Ilustración 12. Microorganismos. http://agroinconsu-eventos.webs.com/documents/Tema%20III.pdf</i>	22
<i>Ilustración 13. Explicación previa a ejercicio de formación buque Ángeles Alvariño. Fuente: Propia</i>	24
<i>Ilustración 14. Portada Plan de Contingencias Buque Oceanográfico Ángeles Alvariño. Fuente: Propia</i>	25
<i>Ilustración 15. Buque oceanográfico Ángeles Alvariño. http://cuerpo8.com/noticias/jornadas-de-puertas-abiertas-al-publico-del-buque-oceanografico-angeles-alvarino-en-a-coruna</i>	27
<i>Ilustración 16. Plano de disposición de tanques buque Ángeles Alvariño .</i>	28
<i>Ilustración 17. Características principales buque Ángeles Alvariño</i>	29
<i>Ilustración 18. Cuadro Orgánico de los equipos de respuesta. Plan de contingencias para derrames de hidrocarburos buque oceanográfico Ángeles Alvariño</i>	38
<i>Ilustración 19. Cuadro orgánico de los equipos de respuesta del buque para un derrame operacional. Plan de contingencias para derrame de hidrocarburos buque Ángeles Alvariño</i>	38
<i>Ilustración 20. Buque Ángeles Alvariño realizando "bunkering" en Santa Cruz de Tenerife. Fuente propia</i>	41
<i>Ilustración 21. Absorbentes situados frente a la zona de toma de combustible. Fuente propia</i>	42
<i>Ilustración 22. Personal de guardia realizando las comprobaciones regulares durante la toma de combustible. Fuente propia</i>	46
<i>Ilustración 23. Bomba de trasiego marca AZCUE. Fuente propia</i>	50
<i>Ilustración 24. Plano de válvulas adaptadas para la operación de trasiego. Fuente propia</i>	50
<i>Ilustración 25. Ordenador central con teleniveles de los tanques de combustible. Fuente propia</i>	50
<i>Ilustración 26. Organigrama de decisiones. Manual del plan de contingencias por derrame de hidrocarburos Buque Oceanográfico Costero Ángeles Alvariño</i>	62
<i>Ilustración 27. Diagrama requisitos de información. Manual del plan de contingencias para derrame de hidrocarburos Buque oceanográfico costero Ángeles Alvariño</i>	67
<i>Ilustración 28. Formato de informe de notificación aprobado por la OMI en la Resolución A.851. Plan de contingencias por derrame de hidrocarburos buque Ángeles Alvariño</i>	69
<i>Ilustración 29. Análisis de trayectoria sistemas de modelación. CONSEMAR</i>	72
<i>Ilustración 30. Logotipo MOHID. http://www.mohid.com</i>	74

<i>Ilustración 31. Logotipo MARETEC. http://www.maretec.org</i>	75
<i>Ilustración 32. Logotipo Instituto Técnico de Lisboa. http://www.mohid.com</i>	75
<i>Ilustración 33. Logotipo HIDROMOD. http://www.mohid.com</i>	76
<i>Ilustración 34. Logotipo ACTION MODULERS. http://www.mohid.com</i>	76
<i>Ilustración 35. Módulos del sistema MOHID</i>	80
<i>Ilustración 36. Ría de Vigo, Galicia. Variación de Temperatura Superficial. http://www.mohid.com</i>	81
<i>Ilustración 37. Océano abierto Archipiélago de Madeira. Variación Temperatura Superficial. http://www.mohid.com</i>	81
<i>Ilustración 38. Estuario Rio Duero, Oporto. Variación de salinidad. http://www.mohid.com</i>	82
<i>Ilustración 39. Estuario Rio Tajo, Lisboa. Variación de Temperatura Superficial. http://www.mohid.com</i>	82
<i>Ilustración 40. Vista Satélite vertido Bahía de Campos. http://www.urgente24.com/17340-grave-chevron-desinformo-sobre-el-derrame-en-bahia-de-campos</i>	83
<i>Ilustración 41. Campo de Frade al Nordeste de Rio de Janeiro. http://noticias.masverdedigital.com/brasil-chevron-paga-17-millones-de-dolares-por-derrame-de-petroleo/</i>	84

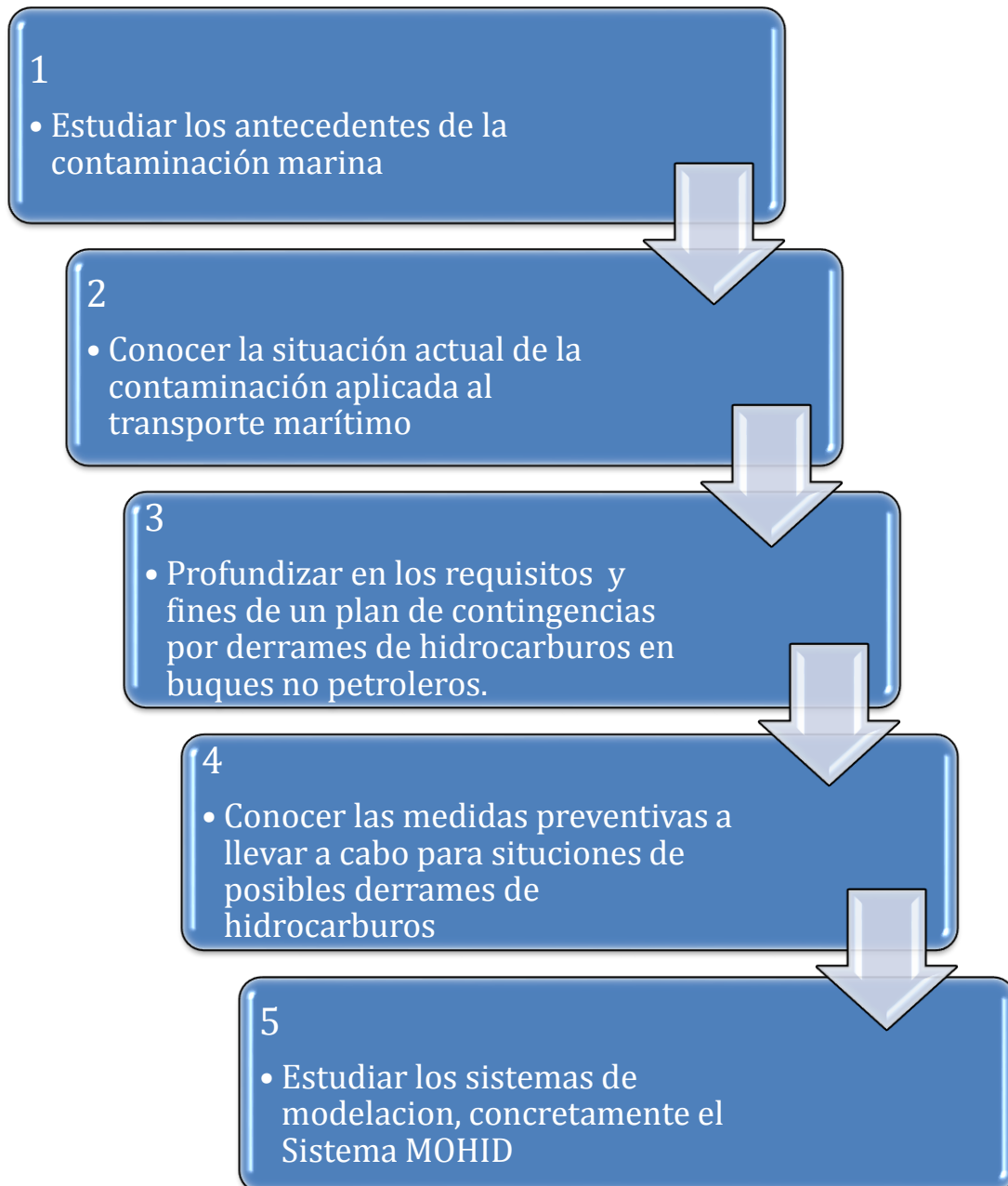
RESUMEN

Con el paso de los años los problemas medioambientales han despertado cada vez más inquietudes, numerosas catástrofes han repercutido en los ecosistemas que han sufrido una alarmante transformación. A su vez, con el fin de erradicar y disminuir esta serie de acontecimientos se han ido modificando o surgiendo normas internacionales recogidas hoy en día en publicaciones importantes de resaltar. La primera normativa internacional para evitar la contaminación por hidrocarburos se publica en el año 1954 debido a las iniciativas que algunos países tomaron viendo el enorme desarrollo que el transporte marítimo de petróleo estaba alcanzando tras la Primera Guerra Mundial.

Es fundamental destacar el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas, International Maritime Dangerous Goods (IMDG), el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, Safety of Life at Sea (SOLAS), el Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los Buques (MARPOL 73/78) y la Guía Internacional de Seguridad para Petroleros y Terminales, International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOT).

OBJETIVOS

Mediante el desarrollo de este trabajo de fin de grado se tratan de conseguir varios objetivos que nos han marcado una guía en la realización y estructura del proyecto y que resaltaremos a continuación:



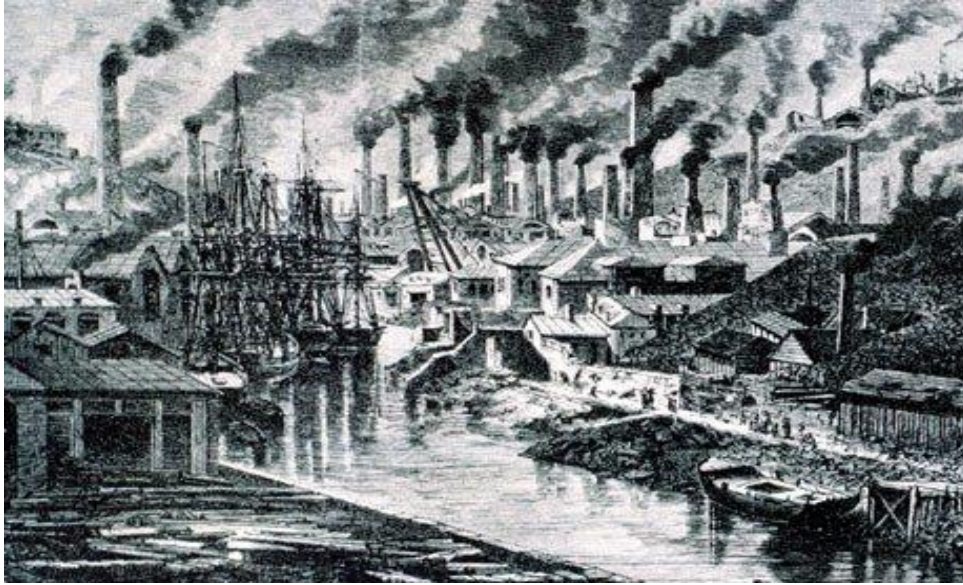
1. INTRODUCCIÓN

Los posteriores puntos mostrarán una breve introducción en la que descubriremos cuándo y cómo surgió la situación de desarrollo industrial actual, su relación con el transporte marítimo y su relación con las consecuencias medioambientales vividas en los últimos años. A lo largo de este trabajo, todos los temas tratados girarán en torno a la contaminación marina, en qué consiste, como se produce, sus efectos, como predecir su comportamiento y la manera de prevenirla desde el punto de vista de los buques oceanográficos, como es el caso del Ángeles Alvariño, perteneciente al Instituto Español de Oceanografía, donde tuve la oportunidad de desarrollar mi formación durante cuatro meses.

1.1 ANTECEDENTES DE LA CONTAMINACIÓN MARINA

A lo largo de esta presentación nos centraremos especialmente en la contaminación marina, que como se ha definido en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, se establece como: “La introducción por el hombre directa o indirectamente, de sustancias o de energía en el medio marino, incluidos los estuarios, que produzca o pueda producir efectos nocivos tales como los daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana, obstaculización y menoscabo de los lugares de esparcimiento”.

La gran caracterización de los océanos recae en la inmensidad y profundidad, debido a esto y a la falta de medidas adecuadas, hasta hace relativamente poco se creía que estos eran un buen lugar para verter sustancias químicas y basuras en grandes cantidades sin consecuencias trascendentes. Los océanos han sufrido y se han visto amenazados a lo largo de miles de años desde la época romana pero la verdadera degradación, y especialmente tratando zonas costeras, se ha acelerado desde hace tres siglos debido al desarrollo industrial y los primeros intentos de industrialización que han traído consigo vertidos de ciudades costeras, explotaciones agrarias e industriales.



**Ilustración 1. Primera revolución Industrial. Imagen tomada del banco de imágenes del ITE:
(<http://recursostic.educacion.es/bancoimagenes/web/> II CC)**

Durante la revolución industrial, entre los siglos XVIII y XIX, el aumento de los bienes de consumo y sus procesos de producción necesitaban de la utilización de grandes cantidades de agua para la transformación de materias primas. Los efluentes de estos procesos productivos eran vertidos sin ningún tipo de depuración cargados de desechos contaminantes, siendo así como comenzó la extensión de la contaminación de las aguas.

1.2 CONTAMINANTES

Productos químicos, entre los que tenemos a los terribles pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensoactivas contenidas en los detergentes, jabones y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos. Algunos de estos contaminantes más comunes son:

- PLAGUICIDAS
- PLÁSTICOS
- HERBICIDAS
- FERTILIZANTES QUÍMICOS
- DETERGENTES
- HIDROCARBUROS
- AGUAS RESIDUALES
- AGENTES INFECCIOSOS
- OTROS SÓLIDOS



Ilustración 2. Vertido de aguas residuales. <http://sineaquanon.com/vertidos-de-aguas-residuales/>

A la consideración anteriormente señalada, del mar como lugar para la evacuación de residuos debemos añadir la contaminación que sufre debido a la utilización normal del espacio tanto por accidentes como por procedimientos operacionales, hablamos de abordajes, varadas, vertidos de los tanques o achique de sentinas.

En este proyecto nos centraremos en el hidrocarburo al tratarse del contaminante más común debido al transporte marítimo, siendo así, de una forma u otra, directa o indirectamente, cómo los grandes espacios marítimos han ido afrontando lentamente un agravante y preocupante cambio y deterioro.

1.3 IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES

Definiremos de nuevo contaminación como la introducción de contaminantes nocivos no habituales en un determinado ecosistema, muchos de los cuales acaban acumulados en las profundidades del océano, ingeridos por pequeños organismos marinos e introducidos en la cadena alimentaria global.

Desde hace ya bastantes años somos conscientes de que el agua es fundamental para la vida por lo que su contaminación puede ser algo realmente negativo para el desarrollo tanto económico como social de los pueblos y poblaciones próximas a ese lugar contaminado. Un claro ejemplo es el accidente del Prestige en día 13 de Noviembre del año 2002 y sus posteriores consecuencias en aguas y costas de Galicia no solo ambientales si no también económicas afectando robustamente en el ámbito empresarial y sociolaboral mediante el sector pesquero, el marisqueo, empresas de suministros, de conservas, talleres y astilleros.

Los derrames de hidrocarburos suponen una fracción relativamente pequeña en la contaminación marina, aun así los daños al medioambiente pueden llegar a ser muy importantes y su impacto varía en función de varios factores, como que el vertido alcance la costa, ecosistemas débiles o poblaciones de animales sensibles.

Estudios desarrollados en el Mar Báltico descubren que vertidos por operaciones de buques matan alrededor de 30.000 y 40.000 aves marinas, estas pérdidas no representan un peligro a largo plazo para las poblaciones de aves más comunes pero si para las poblaciones de aves menos comunes que normalmente viven en espacios restringidos.

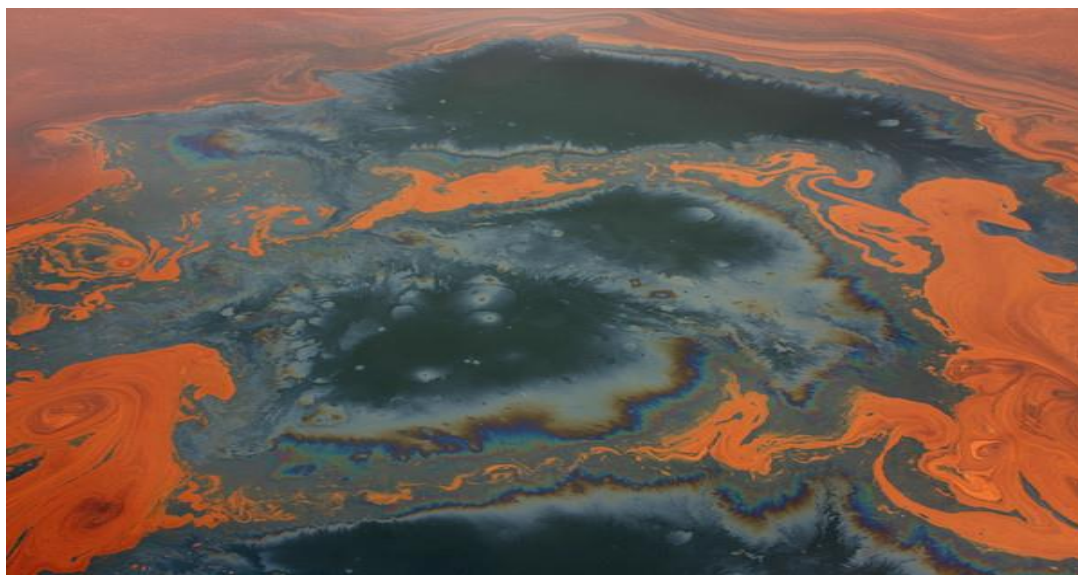


Ilustración 3. Vertido de petróleo en el Golfo de México.<http://www.nationalgeographic.es/noticias/medio-ambiente/el-oceano/vertido-golfo-mexico>

Además, no solo las aves se ven afectados por los vertidos de hidrocarburos, los ecosistemas costeros y marinos se ven perjudicados también de otras maneras:

- Daños físicos a los ecosistemas marinos
- Daños a las reservas de agricultura
- Mortalidad e impactos a largo plazo en mamíferos y hábitats marinos
- Daños a la vegetación y biota internacional

Las consecuencias exactas no son fáciles de predecir, teniendo en cuenta varios factores como su rápida expansión, el rápido alejamiento de las fuentes o punto de vertido y los cambios en la composición del hidrocarburo debido a procesos físicos, químicos y biológicos desde que es vertido al mar.

1.4 ZONAS PROTEGIDAS, CANARIAS ZONA ESPECIALMENTE SENSIBLE

El día 24 de Octubre de 2003 el Ministerio de Fomento presentó ante la Organización Marítima Internacional (OMI) la propuesta de asignación de las aguas de las Islas Canarias como Zona Marina Especialmente Sensible (ZMES). Definimos ZMES como aquella zona que debe ser objeto de protección especial debido a su importancia por motivos ecológicos, socioeconómicos, científicos reconocidos y a que su medio ambiente pueda llegar a sufrir daños en consecuencia de actividades marítimas.

Cabe destacar la situación geográfica del archipiélago Canario que convierte sus aguas en paso o escala obligada para el desarrollo de grandes rutas oceánicas entre Europa, Asia y América, siendo así como, según datos de Capitanía Marítima de Santa Cruz de Tenerife, alrededor de 20000 buques transitan puertos Canarios y otros 25000 navegan por el archipiélago sin hacer escala, transportando gran parte de ellos mercancías peligrosas, hidrocarburos o derivados del petróleo.

Definitivamente, las Islas Canarias han acreditado criterios oceanográficos, ecológicos y condiciones de tráfico marítimo suficientes como para que sus aguas sean consideradas bajo este régimen; por lo que la OMI reconoce que el intenso tráfico marítimo que soportan las aguas del

archipiélago supone una gran vulnerabilidad para el ecosistema ante los posibles sucesos de contaminación por hidrocarburos y sustancias peligrosas dando la aprobación definitiva a la propuesta.

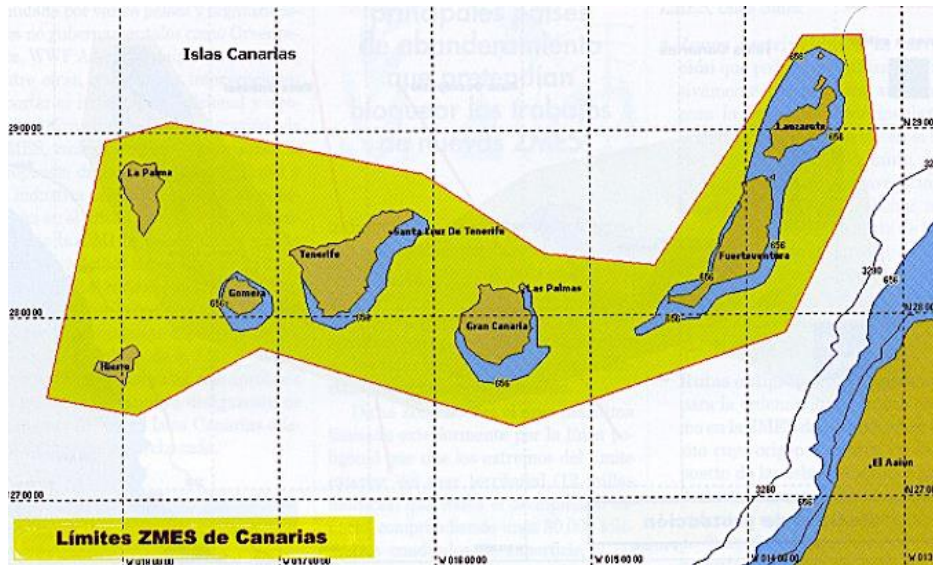


Ilustración 4. Límites de la ZMES del Archipiélago Canario. Fuente: Revista Marina Civil.

La zona abarcará el área marítima limitada exteriormente por la línea poligonal que une los extremos del límite exterior del mar territorial, siendo consideradas las 12 millas náuticas que rodean el archipiélago canario y permitiendo una futura ampliación.

En consecuencia las Islas Canarias cuentan con medidas de protección como zonas restringidas a la navegación, rutas y notificaciones obligatorias de los buques.

1.4.1 ZONAS RESTRINGIDAS A LA NAVEGACIÓN

Quedan declaradas ciertas zonas restringidas a la navegación que solamente podrán ser utilizadas para pesca artesanal y navegación interinsular. Estas zonas son:

- Zona norte de la isla de Lanzarote
- Zona suroeste de la isla de Tenerife
- Zona suroeste de la isla de Gran Canaria
- Zona marítima de la isla de La Palma
- Zona marítima de la isla del Hierro

1.4.2 RUTAS OBLIGATORIAS DE NAVEGACIÓN

Para los buques en tránsito cuyo origen o destino no sea un puerto de las Islas Canarias el tráfico se ordena mediante dos rutas preestablecidas, la ruta occidental que delimita Gran Canaria y Tenerife y la ruta oriental que delimita Gran Canaria y Fuerteventura.

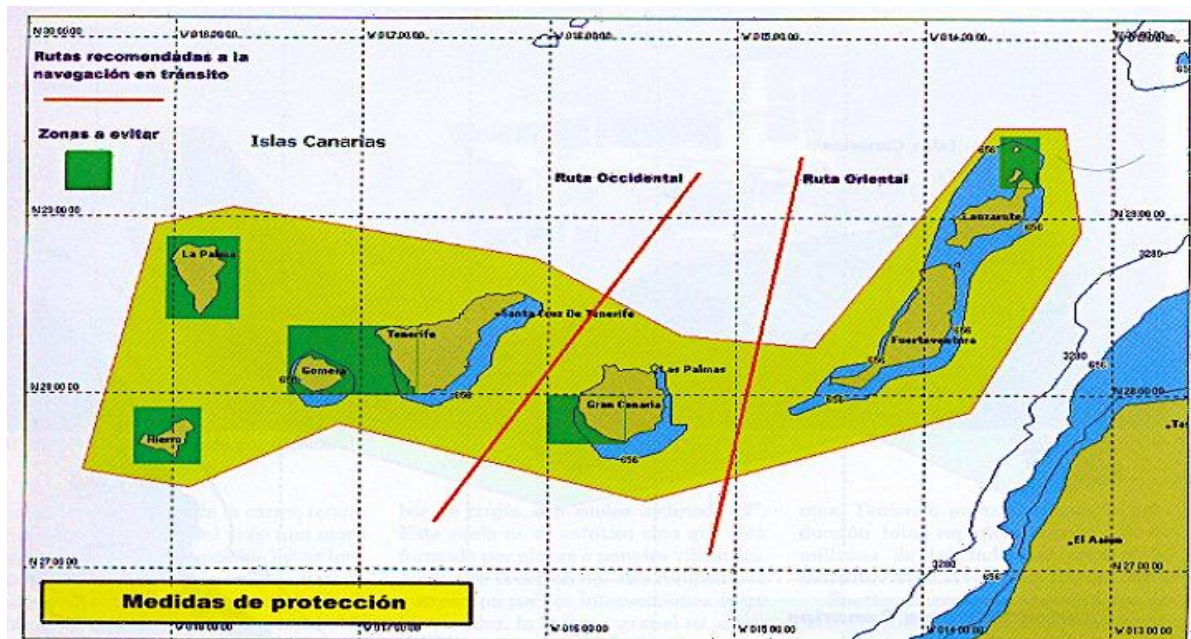


Ilustración 5. Zonas a evitar y rutas obligatorias. Fuente: Revista Marina Civil.

1.4.3 SISTEMA DE NOTIFICACIÓN

Esta medida de protección arma un sistema mediante el cual se notifican entrada y salida de la ZMES para todos los buques que transporten hidrocarburos pesados, tanto en tránsito como con destino a puertos del archipiélago. Las notificaciones se harán mediante los Centros de Coordinación de Salvamento de Las Palmas o Tenerife del Ministerio de Fomento.

1.5 CONTAMINACIÓN APLICADA AL TRANSPORTE MARÍTIMO

La forma más usada para el traslado de mercancías ha sido desde hace siglos la el transporte marítimo que ha supuesto hasta día de hoy una conexión directa entre países que permite transportar grandes volúmenes de mercancía a buen precio y de forma eficaz y segura.

Tanto el petróleo como sus derivados desempeñan un papel importante para la economía mundial, siendo las cargas más transportadas y evidentemente las que más riesgos y consecuencias implican para el medio marino. El transporte de mercancías peligrosas por mar implica riesgos que pueden llegar a afectar a personas, al buque o a la mar, por ejemplo, riesgos físicos químicos, debidos a la manipulación de mercancía, al transporte, almacenamiento, estiba, etc. Estos riesgos asociados al transporte de mercancías peligrosas ha sido objeto de gran atención en los últimos años debido a la periodicidad de los accidentes, las consecuencias que llegan a tener y su impacto económico y social.

El día 18 de Marzo de 1967 el petrolero “Torrey Canyon” encalló, debido a un error de navegación, en las cercanías de las Islas Sorlingas, al sur de Inglaterra provocando un desastre ecológico y el primer gran vertido de crudo de la historia. Hasta el momento no existía protocolo de actuación ni medidas preventivas, pero este acontecimiento y su fuerte impacto político, económico y ambiental condujo a una profunda reestructuración de las normas internacionales de navegación y prevención de contaminación, normas que han ido cambiando con el paso de los años a medida que resurgían nuevos accidentes y catástrofes frutos de continuas negligencias, llegando a normativas como las que conocemos hoy en día, haciendo referencia de nuevo a MARPOL 73/78, IMDG, ISGOT o SOLAS.



Ilustración 6. Hundimiento del petrolero Torrey Canyon al sur de Inglaterra.
<http://home.bt.com/news/world-news/march-18-1967-environmental-disaster-feared-as-tanker-torrey-canyon-hits-rocks-off-cornwall-11363968852975>

La principal prioridad es evitar desde un primer momento cualquier tipo de vertido en el mar, una vez el derrame sea inevitable, se debe llevar a cabo una gestión adecuada para que las consecuencias que hemos tratado sean lo menores posibles. Por lo tanto, por un lado se debe resaltar la supervisión y las medidas preventivas, que cada vez son mas rigurosas, y por otro lado, la capacidad y competencia de actuación para llegar a solventar en la medida de lo posible y de la forma más rápida y eficaz la situación.

A lo largo del proyecto abarcaremos, como hemos comentado, la contaminación marina, dentro de ello, por un lado trataremos el ámbito preventivo y por otro lado, enfoque de solvencia posterior. Trataremos las características del hidrocarburo por excelencia, el petróleo, y su comportamiento sobre la superficie del mar, se resaltarán los puntos mas importantes y destacados de un Plan de Contingencia por Derrame de Hidrocarburos y se presentarán las grandes ventajas del uso de los sistemas de modelación, especificando en el sistema MOHID desarrollado en Lisboa.

2. EL PETRÓLEO

Actualmente el petróleo es quizás la gran amenaza de contaminación de los océanos debido al aumento de la producción de este para poder atender a las necesidades de la sociedad actual. A lo largo de este apartado trataremos un poco tanto sus características como su actuación sobre el agua.



Ilustración 7. Plataforma petrolífera de perforación para aguas profundas del Golfo de México. https://es.wikipedia.org/wiki/Industria_petrolera

Los hidrocarburos se definen como compuestos orgánicos formados prácticamente por hidrógeno y carbono, compuestos que se presentan como gases, líquidos, grasas y sólidos. Diferenciaremos entre dos tipos de hidrocarburos, los hidrocarburos persistentes y los hidrocarburos no persistentes o ligeros.

Los hidrocarburos persistentes suelen ser menos tóxicos y se dispersan de forma natural lentamente, por consiguiente suelen requerir mayores operaciones de limpieza, hablamos de crudos, fueles, aceites lubricantes o productos refinados pesados. En cambio, los hidrocarburos no persistentes tienden a evaporarse y desaparecer rápidamente de la superficie al ser derramados por lo que normalmente no requieren limpieza pero tienden a causar efectos tóxicos localizados graves, se trata de hidrocarburos como gasolina, queroseno, diesel o nafta.

El crudo de petróleo se define como una mezcla de compuestos orgánicos, la mayoría de ellos hidrocarburos gaseosos, líquidos y sólidos cuya calidad depende del origen. Como ya sabemos, es utilizado en diferentes industrias y para ello debe someterse a una serie de procesos o tratamientos, proceso que denominaremos refinación del petróleo.

A raíz de la refinación se obtienen derivados como metano, etano, gases licuados, nafta, ligroína, gasolina, queroseno, gas-oil, fuel-oil, aceites lubricantes, asfaltos o alquitrán, todos con diferentes características físicas y químicas que determinarán su futuro comportamiento sobre la superficie del mar en un posible derrame. Estas propiedades físicas y químicas, entre otras, son las siguientes: punto de vertido, punto de inflamación, solubilidad, viscosidad, tensión superficial y peso específico relativo.

El transporte de hidrocarburos por vía marítima es una de las partes más importantes del negocio petrolífero; dado que es el único medio de asegurar el transporte de grandes cantidades en un espacio relativamente corto de tiempo, abasteciendo así a todos los clientes a nivel mundial. Guillermo Ricardo (2004), experto en economía marítima, hace una acertada clasificación de los buques petroleros según su capacidad de transporte e idoneidad para cada tráfico:

TIPO BUQUE	DWT	ZONA DE OPERACIÓN	OBSERVACIONES
Shuttle Tanker (lanzaderas)	80.000 - 200.000 DWT	Son buques especializados que repiten continuamente el trayecto de ida y vuelta, desde pozo (instalación offshore), a la refinería en tierra donde descarga el crudo para su tratamiento.	Su tamaño no es excesivamente grande, pero cuentan con gran capacidad de maniobra, posicionamiento dinámico y equipamiento para realizar la carga de crudo en el mar.
Coastal Tanker (Costeros)	< 16.500 DWT	Trayectos costeros, cortos y/o cautivos	
General Porpouse Tanker (Multipropósito)	16.500 DWT - 25.000 DWT	Operan en tráficos diversos	
Handy Size Tanker	25.000 DWT - 30.000 DWT	Ejemplos de áreas de operación son el Caribe y la costa Este de los Estados Unidos o puertos del mar Mediterráneo y del Norte de Europa.	
Panamax	De 55.000 DWT hasta los 80.000 DWT. Poseen una capacidad que oscila entre los 350.000 y los 500.000 barriles de petróleo.	Ejemplo de tráficos clásicos, podemos mencionar el Caribe, el mar Mediterráneo o el Norte de Europa. En el cabotaje de Argentina es uno de los utilizados para el embarque y transporte de crudo desde las terminales ubicadas en la Patagonia.	El nombre de este módulo se debe a que, originalmente, las dimensiones de estos buques, cumplían con las máximas permitidas para su tránsito por el Canal de Panamá (unos 274 m de eslora, poco más de 32 m de manga y entre 12 y 13 m de calado).
Aframax	El London Tanker Brokers Panel lo define como un módulo de 79.999 DWT, aunque usualmente se acepta un rango entre 75.000 DWT y 120.000 DWT, es decir, de 500.000 a 800.000 barriles de petróleo.	Tráficos habituales incluyen cargamentos entre puertos ubicados en áreas como el Caribe, el mar Mediterráneo o el Golfo Pérsico.	
Suezmax	Módulos van desde los 120.000 DWT hasta los 200.000 DWT. Transportan entre 900.000 y 1.200.000 barriles de petróleo crudo.	Demanda se concentra en la costa Oeste de África con destino al Caribe, la costa Este de los Estados Unidos o el Norte de Europa y el Mar Negro.	En sus orígenes, su nombre estaba vinculado a que el módulo a plena carga cumplía con las máximas dimensiones permitidas para el tránsito por el Canal de Suez. Hoy en día navegan por ese canal buques de hasta 300.000 DWT.
V.L.C.C. (Very Large Crude Carrier)	Módulos desde los 200.000 DWT hasta los 320.000 DWT. En promedio, transportan dos millones de barriles.	Entre sus tráficos habituales, de largas distancias, cargan crudo en el Golfo Árabe con destino a los Estados Unidos o puertos de la India y Asia.	Por sus dimensiones se trata de buques que operan por lo general en terminales de mar adentro.
U.L.C.C. (Ultra Large Crude Carrier)	Sus módulos son todos aquellos cuyo porte es mayor a los 320.000 DWT (aproximadamente tres millones de barriles).	Como los V.L.C.C., son habituales los viajes largos. Sus tráficos más corrientes se realizan entre puertos del Golfo Árabe y el Golfo de los Estados Unidos, puertos de Asia o la costa Oeste de África.	Estos supertanques aparecen en el mercado a fines de los años '60 y se afirman durante los años '70. Se encuentran muy limitados para operar en aguas restringidas o poco profundas.

Ilustración 8. Tipos de Buques Petroleros. Elaboración propia con datos de Guillermo Ricardo (2004)

2.1 COMPORTAMIENTO DEL PETROLEO EN EL AGUA

Como hemos comentado, cuando el hidrocarburo entra en contacto con el agua, su comportamiento varía en función de sus propiedades, pero no son los únicos factores que influyen en el comportamiento, también cabe destacar las condiciones climáticas y las características del medio marino, por lo tanto, el efecto dependerá de factores como el tipo de hidrocarburo, la cantidad derramada, la distancia del punto de vertido a costa, época del año, temperatura del agua, clima, mareas y corrientes. Tras un derrame, el crudo se extiende, se desplaza y sufre un proceso gradual de envejecimiento.

2.2 EXTENSIÓN Y DESPLAZAMIENTO DEL DERRAME

El primer impacto observable tras el derrame del hidrocarburo es su extensión sobre la superficie del agua, como hemos comentado, su velocidad y espesor va a depender de las características químicas y físicas anteriormente señaladas. Los hidrocarburos ligeros formarán una capa fina sobre la superficie que se propagará con rapidez, por el contrario, los hidrocarburos pesados con mayor densidad tienden a solidificarse de forma rápida formando manchas compactas y aglomeraciones de hidrocarburos llegando a tener un espesor de varios milímetros o incluso centímetros y extendiéndose con menor velocidad.

Este proceso está condicionado además por las condiciones climáticas y las características del medio marino, factores externos como, la acción de la gravedad, tensiones superficiales, viento, olas y corrientes marinas, resultando la figura o forma final de la mancha.

2.3 PROCESOS DE ENVEJECIMIENTO

Determinaremos al proceso de envejecimiento o degradación como el conjunto de procesos que sufre un derrame de hidrocarburo una vez vertido al mar cuando sus propiedades físico-químicas se ven sometidas a una evolución a lo largo del tiempo. Conoceremos un poco más de estos procesos en este apartado, son; evaporación, disolución, dispersión, emulsificación, sedimentación, biodegradación y fotooxidación.

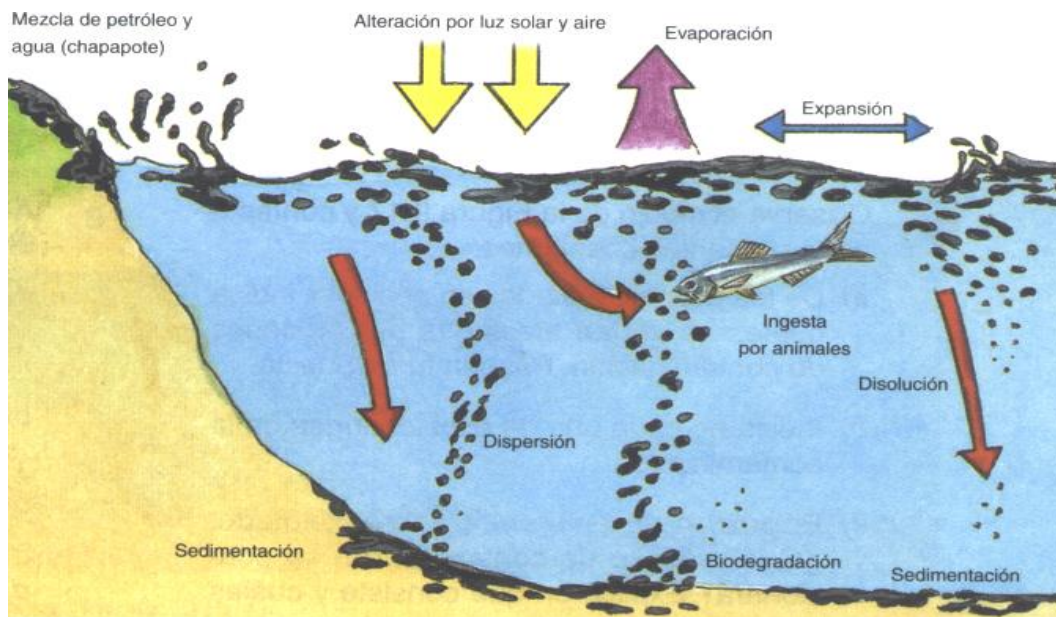


Ilustración 9. Representación proceso de envejecimiento del petróleo.
http://biologiayegeologia.org/unidadbio/a_ctma/hidrosfera/contaminamar.html

EVAPORACIÓN

La tasa de evaporación aumenta cuanto mayor sea el área del vertido, en este caso, también variará la velocidad y extensión de la evaporación en función de las características del hidrocarburo, hidrocarburos de poca densidad se evaporarán rápidamente en pocas horas e hidrocarburos pesados se disiparán de una forma más lenta. En este proceso se produce una rápida pérdida de moléculas de hidrocarburos de bajo peso molecular. Otro factor a destacar en el proceso de evaporación son tanto el viento como la temperatura, la evaporación será más rápida cuanto más agitado esté el estado del mar, cuanto mayor sean estos dos condicionantes. Como parte final, estos hidrocarburos evaporados son descompuestos en la atmósfera por fotooxidación.

FOTOOXIDACIÓN

Se trata de la oxidación producida por la energía lumínica y se define como el conjunto de reacciones de oxidación inducidas por la luz en las que se pierden uno o más electrones de una especie química.

La exposición de los componentes del petróleo al oxígeno y a la luz en las aguas superficiales es lo que llega a producir este proceso de transformación fotoquímica de estos componentes a partir de reacciones autocatalíticas. Definiendo a su vez las reacciones autocatalíticas son procesos en los que un compuesto químico induce y controla una reacción química sobre sí mismo.

La velocidad de oxidación dependerá de las sustancias particulares contenidas en el producto, por ejemplo las manchas superficiales se encontrarán más expuestas a este proceso que las emulsiones o los conglomerados de alquitrán.

DISPERSION VERTICAL

El vertido sobrante que continúa sobre la superficie marina, sin sufrir evaporación ni fotooxidación, se verá condicionado por el proceso de dispersión vertical.

Mediante el proceso de dispersión vertical una gran parte del hidrocarburo se dispersa disolviéndose en una columna de agua inferior a la capa del vertido, esto es debido principalmente a la gravedad específica del petróleo, la tensión superficial, las fuerzas de inercia y fricción, el efecto de las olas y la mala mar.

Posteriormente, las gotas oleosas que continúan dispersas tienen tendencia a subir de nuevo a la superficie y a ser redispersadas debido a las fuerzas de flotabilidad. El proceso de dispersión resulta el más significativo las primeras 10 horas del derrame.

EMULSIFICACIÓN

El vertido restante sufre una emulsificación, las propiedades del hidrocarburo cambian al crearse una mezcla o emulsión gelatinosa de agua y aceite, llegando a alcanzar altos porcentajes de agua (80%-90%) y aumentando el volumen del contaminante, siendo el resultado final son bolas de alquitrán semisólidas y muy densas que han aumentado su volumen.

La formación de emulsiones depende de las condiciones del viento y la viscosidad del hidrocarburo y si se llegan a dar las condiciones propicias, el volumen de la emulsión puede llegar a ser el doble en tan solo un par de días.



Ilustración 10. Emulsión de aceite y agua. <http://agroinconsultos.webs.com/documents/Tema%20III.pdf>

SEDIMENTACIÓN

La sedimentación consiste en el proceso mediante el cual el hidrocarburo se intemperiza, surge entonces un incremento de su densidad respecto al agua circundante y como consecuencia se hunde. También se produce por la adhesión de las partículas suspendidas en la columna de agua al hidrocarburo.

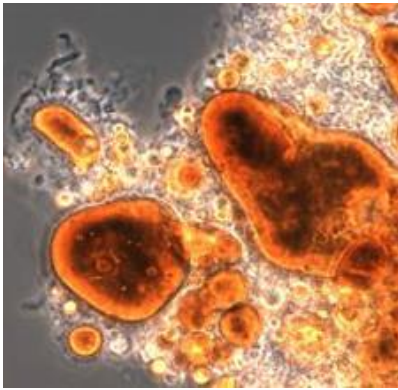
Este fenómeno suele darse con mayor facilidad en áreas costeras someras donde la acción de las olas es baja y, por el contrario, la tasa de sedimentación alta.



Ilustración 11. Submarinista limpiando gran capa de fuel en el fondo marino, Isla de Ons, Galicia. http://elpais.com/diario/2003/02/12/espana/1045004407_740215.html

BIODEGRADACIÓN

La biodegradación o degradación microbiana, consiste en la utilización del hidrocarburo como sustrato por microorganismos, esto es debido a que ciertas especies de bacterias marinas, hongos y otros organismos utilizan los hidrocarburos como única fuente de carbono, siendo capaces de degradarlos. El proceso está determinado por varios factores, entre ellos:



- SALINIDAD
- NITRÓGENO
- CONCENTRACIÓN DE MICROORGANISMOS
- BIODEGRADCIÓN NATURAL
- OXÍGENO DISUELTO
- TEMPERATURA
- FÓSFORO

Ilustración 12. Microorganismos. <http://agroinconsu-eventos.webs.com/documents/Tema%20III.pdf>

Este proceso toma un papel importante a largo plazo, aunque no es eficaz para todo tipo de hidrocarburos, resulta bastante lento y las velocidades de descomposición en condiciones naturales no se conocen con exactitud.

Especificaremos un ejemplo, en el derrame sufrido en 2010 en el Golfo de México por la compañía BP, los organismos removieron 20000 toneladas de metano (CH₄), considerándose el 20% del crudo vertido.

3. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA EL DERRAME DE HIDROCARBUROS

Como se ha nombrado con anterioridad, las medidas preventivas y las normativas de seguridad tanto nacionales como internacionales surgen a raíz de una de las primeras catástrofes mundiales, el hundimiento del petrolero Torrey Canyon y de su fuerte impacto económico, político y ambiental. A partir de este momento, se procede a una profunda reestructuración de las normas internacionales de navegación y de prevención de la contaminación, surgiendo e imponiéndose así, con el paso de los años, numerosos Sistemas de Gestión, Sistemas de Gestión de Calidad, Gestión Ambiental, de Seguridad y Protección Medioambiental.

Actualmente, podemos decir que contamos con unas fuertes normativas de seguridad y prevención que evidentemente, continuarán actualizándose y mejorándose con el paso del tiempo, hablamos de IMDG, SOLAS, MARPOL 73/78 o ISGOT, etc...

Un plan de contingencia es un tipo de plan preventivo, predictivo y reactivo con una estructura estratégica y operativa cuya finalidad es ayudar a controlar y prevenir situaciones de emergencia minimizando posteriormente sus consecuencias negativas. Los objetivos son bastante genéricos, pero aun así, los planes deben reflejar la cultura de trabajo del país, resultando documentos de trabajo concisos, accesibles y de fácil actualización. Además deben ser razonablemente autónomos con referencias mínimas a otras publicaciones que podrían llegar a retrasar la toma de decisiones.

Los planes deben ser gestionados activamente, actualizados y revisados regularmente, teniendo en cuenta, por ejemplo, las lecciones aprendidas de siniestros o ejercicios reales o bien, según lo requieran los cambios en las normativas comentados anteriormente. La existencia de un plan no implica que se disponga de la preparación suficiente para actuar y responder a un derrame de hidrocarburos,

Propone y pone a disposición de la tripulación una serie de procedimientos alternativos al funcionamiento general de una organización en caso de que alguna de las funciones normales se vea perjudicada por una contingencia ya sea externa o interna. De este modo, logra un enfoque formativo a bordo con el objetivo de trabajar en equipo, siendo imprescindible para ello que todos

los responsables comprendan el plan y estén familiarizado tanto con su propia función como con la del resto de integrantes de la estructura de respuesta.



Ilustración 13. Explicación previa a ejercicio de formación buque Ángeles Alvariño. Fuente: Propia

Debido a que las emergencias, del mismo modo que los derrames de carga, no se pueden controlar por completo, la preparación contra emergencias y la prevención de la contaminación deben formar parte de la familiarización de las tripulaciones, de esta forma, el personal a bordo estará preparado para responder eficazmente ante un supuesto de derrame o descarga. Destacando así, que carece de sentido la confección de un plan si el personal no se encuentra familiarizado con él. Esto último se logra mediante ejercicios prácticos o simulacros de emergencia regulares y en intervalos periódicos que deben ser registrados.

El plan debe estar adaptado al tipo de buque del que se trate, exige una lista de autoridades o personas a las que se debe contactar o dar aviso y se destinará a ayudar al personal a combatir un derrame de hidrocarburos imprevisto con la finalidad de contener y reducir el derrame y sus efectos. Para cumplir con su objetivo el plan debe ser:

- PRÁCTICO Y DE FÁCIL APLICACIÓN
- COMPENSIBLE PARA EL PERSONAL DE GESTIÓN DEL BUQUE
- EVALUADO, REVISADO Y ACTUALIZADO

4. PLAN DE CONTINGENCIAS POR DERRAME DE HIDROCARBUROS PARA BUQUES NO PETROLEROS

Si bien hasta el momento se ha tratado en profundidad la situación que se produce cuando tiene lugar un vertido de hidrocarburos desde un buque petrolero o que transporte mercancías peligrosas, no se tiene demasiado en consideración aquellos buques que si bien no transportan este tipo de mercancía, sí que almacenan para su consumo, grandes cantidades de hidrocarburos, principalmente fuel-oil medio. Interesa saber cómo son los planes de contingencia ante vertidos de hidrocarburos para buques con estas características.

En este apartado se desarrollarán los principales puntos fuertes de un plan de contingencias por vertido de hidrocarburos, exactamente del plan de contingencias perteneciente al buque Oceanográfico Ángeles Alvariño perteneciente al Instituto Español de Oceanografía.



Ilustración 14. Portada Plan de Contingencias Buque Oceanográfico Ángeles Alvariño. Fuente: Propia

El buque cuenta con un plan de contingencias por derrame de hidrocarburos para buque no petroleros ha sido preparado y adaptado especialmente para el buque Oceanográfico Ángeles Alvariño en cumplimiento con la Regla 37 del Anexo I de MARPOL 73/75 y basado en las directrices dictadas por OMI en la Resolución MEPC 54(32), enmendadas mediante la resolución MEPC 86(44), además está constituido por 110 páginas oficialmente selladas y está aprobado por la DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE.

Como hemos nombrado en el párrafo anterior, la Regla 37 del Anexo I de MARPOL, requiere que todos los buques petroleros de arqueo igual o superior a 150 GT y todos los buques que no sean petroleros de arqueo igual o superior a 400 GT, lleven a bordo un Plan de Emergencia aprobado por la Administración. Para los buques nuevos de acuerdo con la definición que de los mismos hace el referido Convenio Internacional MARPOL 73/78 y sus posteriores enmiendas, esta Regla entró en vigor el 4 de Abril de 1993.

El objetivo de este Manual es facilitar a la tripulación de los buques que no sean petroleros una "Guía práctica" de actuación para contingencias por derrames de hidrocarburos a bordo, ya sea durante la navegación, en puerto o durante las operaciones de toma de combustible, conteniendo toda la información e instrucciones operacionales emitidas por la Organización Marítima Internacional (OMI).

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE

El buque fue construido en el año 2012 y botado el día 24 de febrero de este mismo año en los astilleros ARMON Vigo. Su principal objetivo es el estudio científico del mar, en función del tipo de campaña el estudio se centrará en diferentes especificaciones. La dinámica de trabajo a bordo se desarrolla a lo largo de periodos, en cada campaña el buque recoge a un conjunto de biólogos en diferentes puertos, normalmente puertos españoles y posteriormente da comienzo el trabajo.



Ilustración 15. Buque oceanográfico Ángeles Alvariño. <http://cuerpo8.com/noticias/jornadas-de-puertas-abiertas-al-publico-del-buque-oceanografico-angeles-alvarino-en-a-coruna>

Se trata de un buque híbrido propulsado por dos motores eléctricos que trabajan en serie acoplados a un solo eje de cola y con hélice de paso fijo. Se construyó de esta forma con el objetivo de evitar transmitir vibraciones al casco, al dificultar estas vibraciones el trabajo a la hora de toma de sondas.

Cada uno de estos dos propulsores, ambos de la marca INDAR-INGETEAM, tiene una potencia de 1225cv y se alimentan de corriente continua, siendo esta última obtenida mediante tres generadores diésel de 1150cv de potencia.

El trabajo de estos tres generadores, marca GUASCOR (SF480TA-SG), es crear corriente alterna, parte de ella se convertirá en continua para alimentar a los dos propulsores, y otra parte será utilizada para los servicios del buque. En ritmo normal de trabajo, con dos generadores en marcha, sería suficiente para abastecer tanto la propulsión como el resto de servicios a bordo, implicando esto un consumo diario que ronda los 7000 litros de gasoil. El buque tiene una capacidad de 182 metros cúbicos repartidos en doce tanques de combustible, cuyas disposiciones podemos ver en el en el siguiente plano, en el que se diferenciarán también; tanques de aceite, lastre, agua dulce, sentinas, lodos, aguas negras o reboses.

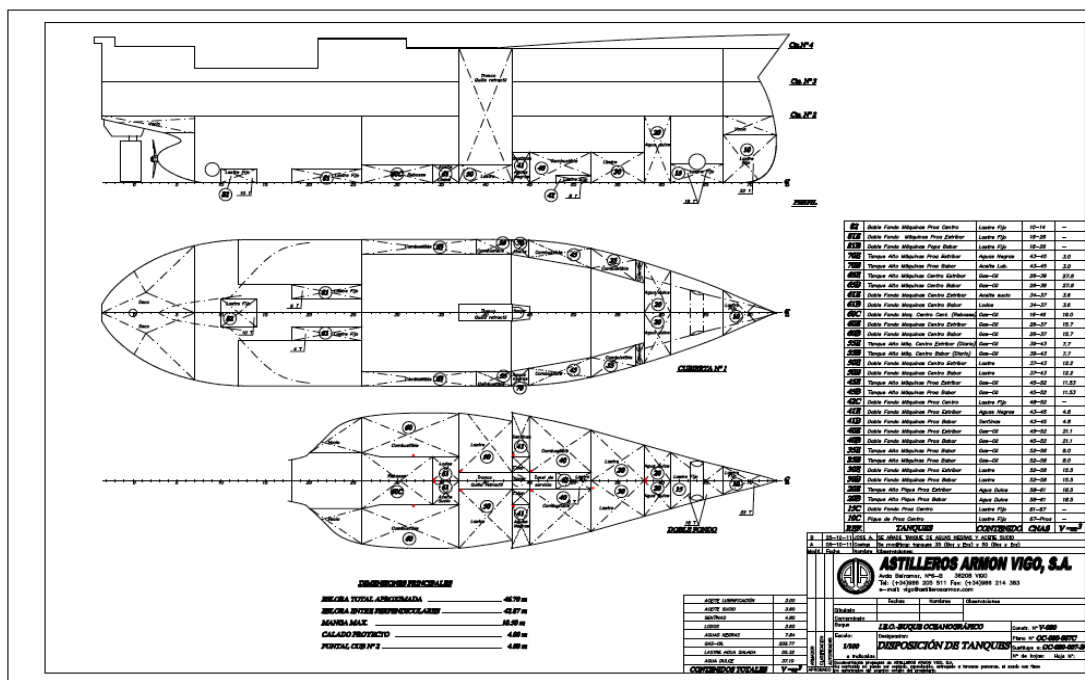


Ilustración 16. Plano de disposición de tanques buque Ángeles Alvariño .

Mostraremos en la siguiente tabla sus principales características técnicas:

CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE	
NOMBRE	Angeles Alvariño
TIPO	Buque Oceanográfico
NUMERO IMO	9524645
DISTINTIVO DE LLAMADA	EASE
BANDERA	Española
PUERTO DE MATRICULA	Vigo
ASTILLERO	ARMON Vigo
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	2012
ARQUEO BRUTO	952 GT
ARQUEO NETO	286 NT
PESO MUERTO	275 t
ESLORA MÁXIMA	46.70 metros
MANGA MÁXIMA	10.50 metros
CALADO DE VERANO	4.732 metros
MOTORES PROPULSIÓN	2x DC INDAR/INGETEAM, KN-800-5-b-“c”
POTENCIA NOMINAL	2 x 900 Kw
VELOCIDAD MÁXIMA	13 Nudos

Ilustración 17. Características principales buque Ángeles Alvariño

4.2 DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS

Cualquier plan debe cumplir con una serie de normas básicas para su redacción, implantación y ejecución, conforme a lo establecido por el convenio MARPOL, veremos por consiguiente; ciertos extractos del plan de contingencia de a bordo, su estrecha relación con la normativa vigente y algunos claros ejemplos de estos procedimientos.

Regla 37 del Anexo I del Convenio "MARPOL 73/78": Plan de Emergencia a bordo en caso de contaminación por Hidrocarburos.

Los buques petroleros de arqueo bruto igual o superior a 150 toneladas y los no petroleros con arqueo bruto igual o superior a 400 toneladas llevará a bordo un plan de emergencia en caso de contaminación por hidrocarburos previamente aprobado por la Administración.

El plan se ajustará a las Directrices elaboradas por la Organización y estará redactado en el idioma de trabajo del capitán y oficiales. El plan incluirá por lo menos:

- El procedimiento que deben seguir el capitán u otras personas al mando del buque para notificar un suceso de contaminación por hidrocarburos, de conformidad con lo prescrito en el artículo 8 y en el Protocolo I del presente convenio, basado en las directrices elaboradas por la organización.
- La lista de autoridades o las personas a quien deba darse aviso en caso de suceso que entrañe contaminación por hidrocarburos
- Una descripción detallada de las medidas que deben adoptar inmediatamente las personas a bordo para reducir o contener la descarga de hidrocarburos resultantes del suceso.
- Los procedimientos y el punto de contacto del buque para coordinar las medidas de a bordo con las Autoridades nacionales y locales para luchar contra la contaminación.

Artículo 3 del Convenio Internacional sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación Por Hidrocarburos de 1990: Plan de emergencia en caso de contaminación.

a) Cada Parte exigirá que todos los buques que tengan derecho a enarbolar su pabellón lleven a bordo un plan de emergencia conforme a las disposiciones aprobadas por la Organización a tal efecto.

b) Todo buque que con arreglo al subpárrafo a) deba llevar a bordo un plan de emergencia en caso de contaminación por hidrocarburos, quedará sujeto, mientras se halle en puerto o en una terminal mar adentro bajo la jurisdicción de una Parte a inspección por los funcionarios que dicha parte haya autorizado debidamente, de conformidad con las prácticas contempladas en los acuerdos internacionales vigentes o en su legislación nacional.

Cada Parte exigirá que las empresas explotadoras de las unidades mar adentro sometidas a su jurisdicción dispongan de planes de emergencia en caso de contaminación por hidrocarburos, coordinados con los sistemas nacionales establecidos conforme a lo dispuesto en el artículo 6 y aprobados con arreglo a los procedimientos que determine la autoridad nacional competente.

Cada Parte exigirá que las autoridades y empresas a cargo de puertos marítimos e instalaciones de manipulación de hidrocarburos sometidos a su jurisdicción, según estime apropiado, dispongan de planes de emergencia en caso de contaminación por hidrocarburos o de medios similares coordinados con los sistemas nacionales establecidos conforme a lo dispuesto en el artículo 6 y aprobados con arreglo a los procedimientos que determine la autoridad nacional competente.

4.3 COMPOSICIONES Y FUNCIONES DEL EQUIPO DE PREVENCIÓN Y LUCHA CONTRA LA CONTAMINACIÓN

En este apartado cabe destacar la importancia de la competencia del personal de a bordo que se encontrará en la mejor posición para responder de manera rápida a un vertido de combustible en el barco.

Además, al redactar el ejemplar final del Manual, se darán al Capitán claras instrucciones de cómo debe responder ante varias situaciones. No sólo contendrá las medidas que en cada caso se han de tomar, también indicará las responsabilidades y misión de cada una de las personas incluidas en el Plan, de forma que al darse una emergencia, no surja la confusión a bordo. Contiene también listas de comprobaciones y una sugerencia de responsabilidades de los distintos tripulantes ante un derrame, que el buque tendrá en cuenta a la hora de confeccionar el Plan final. Se incluyen dos ejemplos de asignación de funciones dentro del Plan que desarrollaremos posteriormente; una para caso de un derrame operacional y la otra para el caso de un derrame resultado de un accidente, teniéndose en cuenta en esta última la prioridad que para el Capitán puede suponer el salvamento de vidas humanas.

La asignación de estas funciones variará de un buque a otro, dependiendo de su tipo, construcción, equipos, número de tripulantes y zonas de navegación. Como mínimo el Plan dará al Capitán normas a seguir en los siguientes casos.

I. CAPITÁN:

En Puerto:

- Supervisará las medidas de prevención de la contaminación conforme a lo establecido en el manual de abordaje (Medidas de prevención de la contaminación).

- Supervisará las operaciones de lucha contra la contaminación realizadas por su tripulación bajo el mando directo del Oficial a cargo de las mismas en cada Departamento del buque.
- Tomará y ordenará la ejecución de aquellas medidas complementarias que considere oportunas de acuerdo con las circunstancias particulares del suceso.
- Establecerá contacto con su Oficina central, tratando, junto con el Consignatario, de facilitar las relaciones entre estos y la Autoridad Marítima Local.
- Informará a la Autoridad Marítima Local y cumplirá las instrucciones recibidas de la misma, coordinando, si fuera preciso, las acciones conjuntas a emprender por su tripulación y el personal de tierra para la lucha contra la contaminación.

En la mar:

- Supervisará las medidas de prevención de la contaminación conforme a lo establecido en el manual de abordaje (Medidas de prevención de la contaminación).
- Supervisará las operaciones de lucha contra la contaminación realizadas por su tripulación bajo el mando directo del Oficial a cargo de las mismas en cada Departamento buque.
- Tomará y ordenará la ejecución de aquellas medidas complementarias que considere oportunas de acuerdo con las circunstancias particulares del suceso.
- Establecerá contacto con su Armador, dando conocimiento de los hechos e informando de las acciones emprendidas y de las instrucciones recibidas de la Autoridad Marítima Nacional.
- Informará a la Autoridad Marítima Nacional del País cuyas aguas o costas pudieran verse afectadas por una posible contaminación de todos los sucesos acaecidos en su buque que hayan producido un derrame de hidrocarburos al mar, así como de aquellas averías en el casco o en los equipos de a bordo que pudieran dar origen a una posterior contaminación del mar, mediante el "Procedimiento de Comunicación.

- Informará regularmente a la Autoridad Marítima Nacional y a su Armador de la evolución de los acontecimientos y del resultado de las acciones emprendidas por él y su tripulación.

II. JEFE DE MÁQUINAS:

- Supervisará la toma de combustible, asegurándose de que se cumplen las instrucciones establecidas para esta operación.
- Controlará el cumplimiento de las medidas establecidas para la operación de tomar combustible, de acuerdo con las normas establecidas.
- Coordinará y Supervisará las acciones emprendidas por el personal de Máquinas para combatir o minimizar la contaminación en caso de un derrame durante la operación de toma de combustible.
- Asesorará al Capitán en todas aquellas cuestiones relativas a la prevención y lucha contra la contaminación a bordo, proponiendo la adopción de las medidas complementarias que considere oportunas.

III. OFICIALES DE CUBIERTA:

PRIMER OFICIAL DE PUENTE:

- Dirigirá al equipo de respuesta formado por el personal de Cubierta y Fonda, disponiendo las acciones a emprender de acuerdo con las instrucciones recibidas del Capitán, manteniéndose en contacto permanente con el mismo mediante radioteléfono o cualquier otro método de comunicación directa.
- Coordinará con el Departamento de Máquinas las operaciones de trasiego de carga y/o combustible, así como cualquier otra operación a realizar conjuntamente por el personal de los Departamentos de Cubierta y Máquinas.

SEGUNDO OFICIAL DE PUENTE:

- **En puerto.-** Se dirigirá al Puente de Gobierno y se pondrá a las órdenes del Capitán.
- **En la mar.-** A las órdenes del Capitán, se asegurará del correcto funcionamiento de todas las comunicaciones, tanto internas como externas, atendiendo principalmente al tráfico de mensajes relativos al suceso.

IV. PERSONAL DE MÁQUINAS:

PRIMER OFICIAL DE MÁQUINAS:

- Se encargará del equipo asignado para realizar la operación de la toma de combustible, de acuerdo con las normas establecidas y las instrucciones recibidas del Jefe de Máquinas.
- Dirigirá el equipo de respuesta formado por el personal de Máquinas. En caso de un derrame organizará las acciones a emprender de acuerdo con las instrucciones recibidas del Jefe de Máquinas, manteniéndose en contacto permanente con el mismo.
- Coordinará con el Departamento de Cubierta las operaciones de trasiego de carga y/o combustible, así como cualquier otra operación a realizar conjuntamente por el personal de los Departamentos de Cubierta y Máquinas.
-

PERSONAL LIBRE DE SERVICIO:

En Puerto:

- A las órdenes del Jefe de Máquinas, acudirán a los lugares donde sean requeridos, sustituyendo si fuera necesario, a cualquiera de los anteriores.

En la mar:

- Se harán cargo de las misiones específicas asignadas dentro del equipo de respuesta a los Oficiales de Máquinas.

V. **PERSONAL DE CUBIERTA, MÁQUINAS Y FONDA:**

PERSONAL DE CUBIERTA:

- **Marinero de Guardia.-** Auxiliará al Oficial de Guardia en su misión, tanto en puerto como en la mar.
- **Subalternos libres de servicio.-** Formarán parte del equipo de respuesta, desarrollando las misiones específicas para este personal.

PERSONAL DE MÁQUINAS:

- **Subalternos de Guardia.-** Auxiliarán al Oficial de Máquinas de Guardia en su misión, realizando los trabajos que les sean encomendados por el Oficial encargado para la realización de la operación de toma de combustible

4.3.1. PROPUESTA DE FUNCIONES QUE HAN DE REALIZAR LOS COMPONENTES DEL "EQUIPO DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN"

CAPITÁN

- Al mando absoluto de la operación.
- Informa a la Oficina Central de la Compañía de la situación.
- Informa a su Agente local.
- Informa a las Autoridades locales del incidente.

Siguiendo las instrucciones de la Compañía, mantiene informados a intervalos regulares a todos los implicados del desarrollo de las operaciones. Siguiendo las instrucciones de la Compañía, solicita la asistencia que se considere necesaria.

PRIMER OFICIAL DE PUENTE

- Al mando de las operaciones de cubierta.
- Mantiene al corriente al Capitán del desarrollo de la operación y del resultado de las medidas tomadas para limitar la contaminación.

SEGUNDO OFICIAL DE PUENTE

- Atenderá las radiocomunicaciones e informará al Capitán.

JEFE DE MÁQUINAS

- Al mando de las operaciones de toma de combustible.
- Ordena el paro de las operaciones.
- Organiza la distribución del detergente.
- Organiza el arranque de las bombas que sean necesarias.
- Alerta e informa al 1º Oficial de la situación.
- Alerta al personal de tierra o de la gabarra de combustible.
- Moviliza al equipo de cubierta para contener el derrame.
- Alerta al equipo de contraincendios.

PRIMER OFICIAL DE MÁQUINAS

- A las órdenes del Jefe de Máquinas.
- Atenderá las operaciones de toma de combustible

SUBALTERNOS DE GUARDIA

- Alertan al encargado de la toma de combustible de cualquier pérdida de combustible.

4.3.2. CUADRO ORGÁNICO DE LOS EQUIPOS DE RESPUESTA

Para cada buque se especificará el número de Equipos de Respuesta, su composición y cometidos, de acuerdo con su tripulación mínima, las características determinadas del mismo y las indicaciones que se incluyen en el Manual a bordo.

EQUIPO	CARGO A BORDO	MISION
1	PRIMER OFICIAL	Dirigirá el equipo de respuesta N° 1
	SEGUNDO OFICIAL	En puerto; A las órdenes del Capitán En la mar: Comunicaciones
	MARINERO DE GUARDIA	Auxiliará al Oficial de Guardia
	RESTO DEL PERSONAL DE CUBIERTA	A las órdenes del Primer Oficial y siguiendo sus instrucciones emplearán los dispersantes y absorbentes que se necesiten en las aguas próximas al buque.
2	PRIMER OFICIAL DE MÁQUINAS	Dirigirá el equipo de respuesta N° 2
	PERSONAL DE MÁQUINAS	Cierre de válvulas de combustible y a las órdenes del Primer Oficial de Máquinas

Ilustración 18. Cuadro Orgánico de los equipos de respuesta. Plan de contingencias para derrames de hidrocarburos buque oceanográfico Ángeles Alvariño

CUADRO ORGANICO DE LOS EQUIPOS DE RESPUESTA DEL BUQUE PARA UN DERRAME OPERACIONAL

EQUIPO	CARGO A BORDO	MISIÓN
	CAPITAN	Al mando absoluto de todas las operaciones. Informa a las autoridades y armador
	JEFE DE MÁQUINAS	Reconoce la zona. Coordina con el Capitán la acción a tomar. Ordena trasiegos.
1	PRIMER OFICIAL	Al mando del equipo. Informa al Capitán. Cálculo de esfuerzos.
	MARINERO DE GUARDIA	A las órdenes del Primer Oficial. Alistará el material.
2	PRIMER OFICIAL DE MÁQUINAS	Al mando del equipo. Seguirá a las órdenes del Jefe de Máquinas.
	MARINERO DE GUARDIA EN MÁQUINAS	A las órdenes del 1º Oficial de Máquinas. Sondará tanques de combustible, sentinas y lastre. Parará la ventilación de espacios de máquinas.
	RESTO DEL PERSONAL	A las órdenes del Primer Oficial de Puente y de Máquinas.

Ilustración 19. Cuadro orgánico de los equipos de respuesta del buque para un derrame operacional. Plan de contingencias para derrame de hidrocarburos buque Ángeles Alvariño

4.4. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Siempre que ocurra un derrame de combustible, la persona que lo detecte, deberá de avisar inmediatamente al capitán, jefe de Máquinas o al oficial de guardia, quienes alertaran al equipo de prevención de la contaminación. Además, si el derrame conlleva peligro de fuego o explosión se deberán tomar precauciones de seguridad.

DURANTE LA NAVEGACIÓN:

LISTA DE COMPROBACIONES PERIÓDICAS:

Como medida preventiva durante la navegación se realizarán tres tipos de comprobaciones: Diarias, semanales y extraordinarias, a cargo de los Primeros Oficiales de Puente y Máquinas, asistidos por el personal de ambos Departamentos que se designe de acuerdo con las orientaciones que figuran a continuación y las listas de toma de datos; anotando el resultado en el Diario de navegación.

COMPROBACIONES DIARIAS:

Se comprobarán todos aquellos equipos y elementos para la manipulación de combustibles y aceites, que se vayan a utilizar o se hayan utilizado en ese día, a fin de comprobar su adecuada posición (conectado/desconectado - abierto/cerrado) a fin de evitar derrames por causa de descuidos en su operación.

COMPROBACIONES SEMANALES:

Incluirán todos aquellos elementos que hayan de ser operados periódicamente, así como juntas estancas, bridas ciegas.

COMPROBACIONES EXTRAORDINARIAS:

Se realizarán cuando se hayan detectado funcionamientos anómalos de algún elemento o equipo relacionado con la manipulación de combustible, así como siempre que se produzcan averías por mal tiempo, varada, toque a fondo, presiones anormales en tuberías o cualquier otra circunstancia que permita suponer que existe un riesgo de averías que puedan ocasionar accidentes con desplazamiento anormal de hidrocarburos fuera de sus tanques de almacenamiento.

EJERCICIOS PRÁCTICOS:

Se realizarán, a intervalos no superiores a un mes, simulacros monográficos de lucha contra la contaminación, abarcando cada uno de los casos contenidos en los referidos puntos.

ANTES DE LA LLEGADA A PUERTO:

LISTA DE COMPROBACIONES:

El Primer Oficial de Máquinas comprobará directamente, auxiliado por el personal de su departamento que considere oportuno el correcto funcionamiento y situación de los sistemas de combustible, de acuerdo con la Lista de Comprobaciones diseñada al efecto.

EN FONDEADERO:

SISTEMA DE VIGILANCIA PREVENTIVA EN CUBIERTA Y MÁQUINAS:

Si el buque hubiera de fondear en espera de atraque o de recibir combustible por gabarra petrolera, se activará el sistema de vigilancia preventiva de una posible contaminación mediante la comprobación por el personal de guardia.

4.5 MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA LA TOMA DE COMBUSTIBLE

PRECAUCIONES GENERALES

Antes de comenzar cualquier operación con hidrocarburos o mezclas oleosas, se inspeccionarán todas las válvulas por las que puedan producirse descargas de hidrocarburos en el mar para comprobar que están cerradas y, cuando no se utilicen para las operaciones, se afianzarán de modo que no se puedan abrir o se colocarán claros indicadores de que deben permanecer cerradas.



Ilustración 20. Buque Ángeles Alvariño realizando "bunkering" en Santa Cruz de Tenerife. Fuente propia

Antes de las operaciones y durante éstas, se colocarán bandejas colectoras de goteo de tamaño adecuado bajo los acoplamientos y bridas de las mangueras. Estas bandejas se drenarán o vaciarán todas las veces que sea necesario. Cuando no existan instalaciones para drenar adecuadamente las mangueras y las tuberías, se tatará convenientemente la brida en el momento de efectuar la desconexión.

Se dispondrá en todo momento de absorbentes, tales como arena, serrín, trapos, etc., para hacer frente a cualquier pequeño derrame que pueda producirse. Se limpiarán inmediatamente los hidrocarburos que se hayan podido derramar y se retendrán a bordo para su posterior eliminación. En ningún caso los hidrocarburos derramados se arrojaran por la borda, ni se procederá a su baldeo.



Ilustración 21. Absorbentes situados frente a la zona de toma de combustible.
Fuente propia

Antes de comenzar las operaciones y durante éstas se vigilarán las mangueras y demás equipo en servicio, a fin de detectar inmediatamente cualquier fuga o avería. Durante las operaciones se sostendrán adecuadamente las mangueras, procurando especialmente que no queden mordidas o aplastadas entre el costado del buque y el muelle, o entre el fondo del buque y el del mar, caso de tomar consumo en un muelle de mar o campo de boyas. Cuando se utilicen brazos de carga se vigilará que éstos puedan seguir libremente los movimientos del buque.

MISIÓN DEL PERSONAL DE A BORDO DURANTE LA DE TOMA DE COMBUSTIBLE

JEFE DE MÁQUINAS

Como norma general ya mencionada; el Jefe de Máquinas será el principal responsable en la organización y desarrollo de la toma de combustible.

El Jefe de Máquinas será ayudado durante las operaciones con el personal de su departamento que estime oportuno y con pleno conocimiento del sistema de almacenamiento y trasiego de combustible, supervisará personalmente todas las operaciones de toma de

combustible, manteniendo en todo momento una estrecha colaboración y comunicación mientras dure la operación, con el personal y encargado de tierra o gabarra.

OFICIAL DE PUENTE DE GUARDIA.

El Oficial de Cubierta de Guardia, asistido por el personal de guardia, se asegurará de que:

- Si el buque está atracado al muelle, deberá de comprobar que esté firmemente amarrado mediante cabos en buen estado y de dimensiones suficientes para aguantar las cargas previsibles. Asimismo si la gabarra de consumo se hace firme al costado, estando el buque fondeado, ésta deberá hacerse firme al buque con las amarras adecuadas. Con ello se trata de evitar que tanto el buque atracado como la gabarra de consumos en caso de abarloarse, tengan una corrida excesiva.
- Antes de comenzar y mientras duren las operaciones, se mantendrán taponados herméticamente todos los imbornales por los que pueda escapar el consumo a la mar en caso de derrame. El taponado se realizará con tapones de madera, arpillera y cemento.
- En caso de lluvia se controlará el achique periódico del agua que pueda acumularse en la cubierta.
- Antes de intentar izar una manguera a bordo se comprobará que el peso total de ésta corresponde al aparejo que para ello va a usarse.

PRECAUCIONES ANTES DE INICIAR LA TOMA DE COMBUSTIBLE

- El Jefe de Máquinas, se cerciorará de que todo el personal asignado a esta operación, conoce perfectamente el sistema de tuberías y válvulas utilizado en el buque para esta operación; incluidas las tuberías de rebose y de respiración, de los tanques de rebose, de las sondas y de los indicadores de nivel.
- El Jefe de Máquinas indicará al personal de tierra o de la gabarra, el régimen máximo de bombeo, así como la presión máxima a que puede recibir el buque el combustible.
- El responsable deberá conocer el número de tanques que puede llenar simultáneamente sin se ponga en peligro el mantenimiento de las condiciones de estabilidad del buque. Asimismo deberá decidir cuál es el número máximo de tanques que puede controlar adecuadamente con el personal que tiene a su disposición y control.
- Todas las personas que participan en la operación deberán conocer la secuencia de llenado de los tanques.
- El Jefe de Máquinas se cerciorará de que se han inspeccionado las tuberías de respiración de los tanques de combustible que se vayan a utilizar, para comprobar que el aire y los gases pueden desplazarse libremente y sin riesgo.
- El Jefe de Máquinas hará que se realicen sondeos del nivel o del espacio vacío de los tanques de combustible, para determinar la cantidad que se encuentra a bordo y estar seguro de que los tanques tienen capacidad para recibir el resto del combustible previsto.
- El Jefe de Máquinas deberá también confirmar con los suministradores la unidad de medida utilizada; por ejemplo, galones, toneladas métricas, toneladas inglesas o americanas.
- Es esencial que el tanque de rebose, si lo hubiese, o el tanque de combustible reservado como tanque de rebose, sea el último que se llene.

- Aunque el llenado excesivo de los tanques es la causa principal de los reboses, no hay que olvidar que le sigue en importancia, el mal estado de las mangueras que se utilizan. Por ello las mangueras deben de ser inspeccionadas, probadas y conservadas, de acuerdo con las instrucciones del fabricante y con los instrucciones generales que a este respecto pudieran existir.

Además, antes de comenzar la operación se debe mantener un contacto entre el buque y el camión de suministro en el que se concrete:

- Cantidad de combustible a suministrar
- Tipo de combustible
- Promedio de bombeo acordado
- Medio de comunicación entre buque y camión de suministro
- Responsable de la comunicación
- Responsable de las sondas durante la operación
- Encargado de supervisión y de toma de acciones en caso de problemas o mal funcionamiento.

Comprobamos previamente que las bandejas para la recogida de pérdidas estén correctamente situadas, que disponemos de suficiente cantidad de absorbente en los lugares adecuados como hemos comprobado en imágenes anteriores y que las válvulas de toma de combustible que no se usen permanezcan totalmente cerradas.

PRECAUCIONES DURANTE LA TOMA DE COMBUSTIBLE

- La operación de toma de combustible se iniciará con el régimen mínimo de bombeo, de modo que se pueda interrumpir rápidamente la operación para comprobar la alineación del sistema o en caso de un contratiempo.
- Se comprobará con regularidad la presión en mangueras y tuberías para cerciorarse de que no se rebasa la presión máxima de bombeo acordada.

- Se tomarán con frecuencia las sondas o vacíos de los tanques.
- Se tendrá buen cuidado de abrir gradualmente las válvulas de los tanques que siguen en la secuencia de llenado, según se vaya cerrando el tanque que se está recibiendo el combustible.
- Durante el "relleno a tope" o "topeado" de los tanques se reducirá el régimen de suministro, avisando con la suficiente antelación al equipo suministrador de tierra o gabarra de que se va a proceder a la operación de "topeo".
- Siempre que sea posible, los tanques de combustible de doble fondo se rellenarán por gravedad a partir de los "deep tanks",
- No se cerrarán las válvulas de llenado de los tanques de combustible del buque, hasta que se haya parado el suministro de combustible y se hayan drenado las mangueras.



Ilustración 22. Personal de guardia realizando las comprobaciones regulares durante la toma de combustible. Fuente propia

Como he podido comprobar a bordo del buque oceanográfico Ángeles Alvariño, a la hora de realizar la toma de combustible se llevan a cabo las comprobaciones pertinentes, previamente, durante la operación y posteriormente. El “bunkering” se realiza normalmente mediante conexión buque camión de suministro tomando en todo momento, uno o varios de los oficiales, el control y continua supervisión en la zona.

Durante la toma se realiza vigilancia continua tanto de las aguas de alrededor del buque para detectar posibles derrames, como de los teleniveles y sondas para evitar posibles reboses. Y por último, una vez finalizada la operación, se procede a comprobar que las válvulas han sido cerradas y que las tapas ciegas han sido correctamente colocadas con todos sus tornillos, se extenderá además el suficiente material absorbente bajo las conexiones de las mangueras, dando así por finalizada la operación.

PRECAUCIONES AL FINALIZAR LA TOMA DE COMBUSTIBLE

Terminadas las operaciones de toma de combustible y una vez drenadas las mangueras y cerrada la válvula principal de la conexión de consumo, se tendrán en cuenta las precauciones que se apuntan.

- Mientras se desconecta la manguera, se mantendrá una bandeja colectora de goteo, bajo la conexión de ésta a bordo.
- Una vez desconectada y cerrada estanca la manguera con una brida ciega, se procederá a realizar la misma operación con la conexión de a bordo.
- Se cerrarán firmemente todas las válvulas del sistema de llenado de los tanques de combustible.
- Se realizará una comprobación final de las sondas de todos los tanques de consumo.

4.6 MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EL TRASIEGO DE COMBUSTIBLE

PRECAUCIONES A TOMAR PARA EL TRASIEGO DE COMBUSTIBLE

Cuando se trasiegue combustible dentro del buque, por ejemplo, de los tanques de combustible a los tanques de sedimentación, se tendrá especial cuidado de que toda válvula de descarga a la mar del sistema de trasiego de combustible, esté adecuadamente cerrada y protegida contra descargas accidentales. Además, cuando las descargas al mar no se utilicen deberán estar provistas de bridas de obturación.

El responsable deberá cerciorarse de que las tuberías de rebose y respiración, si las hubiese, están despejadas y en orden. Las sondas e indicadores de nivel de los tanques de sedimentación, estarán preparados para evitar que se produzcan escapes en caso de excesivo llenado accidental de dicho tanque. Durante las operaciones de trasiego se realizarán frecuentes tomas de sonda y vacíos en los tanques.

El trasiego a bordo se lleva a cabo de forma manual mediante el piano de válvulas y la bomba de trasiego, siendo esta de la marca AZCUE con una capacidad de bombeo de 15 metros cúbicos la hora. A la hora de realizar la operación la persona responsable estará pendiente del nivel de los tanques mediante tanto los teleniveles indicados mediante el ordenador general como por sondeo continuo.



Ilustración 23. Bomba de trasiego marca AZCUE. Fuente propia



Ilustración 24. Piano de válvulas adaptadas para la operación de trasiego. Fuente propia



Ilustración 25. Ordenador central con teleniveles de los tanques de combustible. Fuente propia

4.7. DERRAMES OPERATIVOS

VERTIDOS ACCIDENTALES DE POCA ENTIDAD

Normalmente se producen durante la toma o trasiego de combustible por distintas causas, entre las cuales cabe destacar las siguientes:

- Rotura en juntas de bridas o perforación de tuberías
- Perforación de mangueras
- Reboses de tanques
- Omisión o deficiencias en el soplado de líneas
- Agarrotamiento de válvulas
- Maniobras erróneas en válvulas o bombas, etc.

En todos los casos, las primeras medidas a tomar serán las siguientes:

- Parar inmediatamente todas las operaciones
- Evitar la caída al mar del producto derramado en cubierta mediante la utilización de material absorbente, equipos de succión, etc.
- Sonar la alarma
- Investigar la causa del derrame y proceder a su corrección.
- Dar conocimiento de los hechos a la Autoridad Marítima Local.
- No reanudar las operaciones hasta tener la certeza de que la causa que provocó el incidente ha sido subsanada. Si se ha producido caída de producto al agua, no se reanudarán las operaciones hasta que la Autoridad Marítima Local lo autorice.

ROTURA DE TUBERÍAS

En este caso, además de las medidas descritas en el punto anterior, se procederá a despresurizar la tubería afectada cerrando la correspondiente válvula de bunker y abriendo, si es posible, la descarga a un tanque vacío.

Se parará la ventilación a camarotes y departamentos de máquinas

En ningún caso se vaciará la línea afectada a las sentinas.

En todo caso, se aislará la zona que ha sufrido la rotura, utilizando, para continuar las operaciones las demás líneas disponibles.

REBOSES DE TANQUES

Una vez tomadas las medidas del punto anterior, se procederá a comunicar el tanque que ha rebosado con otro próximo que tenga una sonda inferior a fin de trasvasar el exceso de combustible a dicho tanque; si esta operación no fuese posible por encontrarse todos los tanques llenos se dispondrá, en último caso transferir el exceso a un tanque de residuos, si la capacidad de este lo permite.

Se parará inmediatamente la ventilación a los camarotes y espacios de máquinas.

ROTURA DE MAMPAROS INTERNOS DE TANQUES.

Si a consecuencia de mal tiempo u otras causas se aprecia que se ha podido producir alguna fisura o perforación en alguno de los mamparos de los tanques de combustible que separan estos de otros espacios del buque, como tanques de lastre, cofferdams, bodegas de carga, peaks, espacios de máquinas se tomarán las siguientes medidas iniciales:

- Se tratará de disminuir la presión interna del tanque afectado, trasegando el producto a otro tanque, hasta que la zona dañada descubra en el espacio vacío del mismo.

- Si el derrame se ha producido en un espacio vacío, se realizarán las operaciones necesarias para achicar la inundación, trasegando el producto recuperado a otro tanque de combustible o en caso necesario a un tanque de residuos.

DAÑOS EN EL CASCO CON O SIN SALIDA DE HIDROCARBUROS AL MAR

En el caso de que la avería se produzca en puerto, se tomarán inicialmente las medidas descritas posteriormente en el Manual de a bordo (Procedimiento de notificación en caso de contaminación).

Se hará sonar la alarma.

Una vez localizada la zona del casco donde se ha producido el daño, se procederá al achicado del tanque o tanques afectados a fin de disminuir la presión interna del mismo, bien trasegando a otros tanques vacíos o descargando a tierra el producto contenido en los mismos.

Si la avería ha producido una rotura en el forro exterior, tan pronto como sea posible, se intentará un taponamiento de fortuna hasta que sea posible realizar una reparación definitiva. Asimismo se considerará la posibilidad de introducir agua en el compartimento afectado, con el fin de que desplace por gravedad al hidrocarburo evitando su salida al exterior.

Si los daños se producen durante la navegación, la única medida posible a tomar será tratar de disminuir la presión interna del tanque o tanques afectados trasegando combustible, en el caso de que la avería afecte al forro exterior y se encuentre bajo la flotación, se tratará, en lo posible, de variar el trímado y la escora para dejar fuera del agua la zona afectada.

4.8. DERRAMES DEBIDOS A SINIESTROS

Cuando se tomen medidas para reducir al mínimo los derrames de hidrocarburos o para desencallar un buque varado, habrá que tener muy en cuenta las consideraciones estructurales y de estabilidad en la respuesta al siniestro.

Los trasiegos internos solo se llevarán a cabo si se ha considerado plenamente el posible efecto de estos sobre la estructura y la estabilidad del buque. Si se sospecha que la avería sufrida es mayor, puede que resulte imposible evaluar el efecto de los trasiegos internos sobre la estructura y la estabilidad del buque. Por lo tanto, quizás sea necesario ponerse en contacto con el propietario o armador, o cualquier otra entidad, a fin de poder obtener información sobre el buque y poder así calcular la estabilidad y resistencia longitudinal con avería.

EMBARRANCADA

En el caso de que se produzca una embarrancada, se tomarán las medidas necesarias para eliminar cualquier foco de ignición y evitar la entrada de gases inflamables en el espacio de máquinas y las acomodaciones.

Se hará sonar la alarma.

El Capitán se asegurará de recibir tan pronto como sea posible, un informe detallado de los daños sufridos por el buque, a fin de emprender las acciones necesarias para salvaguardar la seguridad de la tripulación, el pasaje y el buque.

Como medidas inmediatas se tomarán las siguientes:

- Una inspección visual del buque en la zona donde se ha producido la embarrancada.
- Se sondarán todos los tanques de combustible y lastre; así como cofferdams, peaks y sentinas de máquinas.

- Se sondarán, así mismo, todos aquellos compartimientos que puedan encontrarse en contacto con el mar, a fin de asegurarse que se encuentran intactos.
- Se compararán las sondas de tanques de combustible, comparando las sondas obtenidas después del accidente con las anotadas en la última guardia, antes de producirse el suceso, haciendo las correspondientes deducciones por la cantidad estimada de combustible consumido hasta el momento de la embarrancada.
- Se inspeccionará la superficie del mar próxima a la zona de embarrancada, para detectar el afloramiento de manchas de hidrocarburos.

Una vez conocida la situación, se procederá a trasegar en lo posible el combustible contenido en los tanques que se hayan dañado o que se encuentren próximos a la zona de varada, procurando variar el asiento del buque a fin de facilitar su reflotamiento.

Seguidamente, se tomarán las precauciones necesarias para evitar, en lo posible, mayores daños o desgarraduras a causa de la acción del mar sobre el casco; iniciando todas aquellas acciones que sean posibles para el reflotamiento del buque.

Se mantendrá un continuo contacto con las Autoridades Marítimas de la Zona, informando puntualmente de la situación, las acciones emprendidas y las medidas tomadas para evitar o minimizar la contaminación.

TOQUE DE FONDO SIN EMBARRANCADA

Si durante la navegación se apreciase vibraciones inusuales del casco ó variaciones anormales en las revoluciones del motor propulsor, es probable que el buque haya tocado fondo, por lo que las primeras acciones estarán encaminadas a comprobar si el buque ha sufrido algún daño y si se ha producido algún derrame de hidrocarburos al mar por tal motivo.

Las acciones más recomendables en este caso son las siguientes:

- Si el buque tiene práctico a bordo, consultar a este a cerca de la existencia de algún obstáculo submarino en la zona.
- Parar la máquina inmediatamente y observar si se produce una disminución brusca de la velocidad.
- Poner en funcionamiento el equipo sondador y consultar la carta náutica de la zona, a fin de determinar la posible existencia de bajos o cualquier otro obstáculo submarino.
- Realizar una inspección ocular en los costados del buque a fin de detectar cualquier posible contaminación en el mar que pudiera proceder del casco.
- Determinar, lo más exactamente posible, la situación geográfica del buque.
- Proceder el sondado de tanques a fin de comprobar si existen pérdidas en los mismos.
- Inspeccionar y sondear, si es preciso, cofferdams, tanques vacíos, pañoles, sentinas y demás compartimentos habitualmente vacíos limitados por el casco a fin de detectar la presencia de agua en su interior.

INCENDIO O EXPLOSIÓN EN CÁMARA DE MÁQUINAS O TANQUES DE COMBUSTIBLE

Si se produce una explosión o incendio a bordo, se tomarán inmediatamente todas las acciones posibles encaminadas a controlar la situación y evacuar a los posibles damnificados por el accidente.

Si el suceso ocurre durante las operaciones de toma de combustible, se interrumpirán inmediatamente éstas cursando aviso inmediato a la Autoridad Portuaria y a la Autoridad Marítima de la Zona a fin de salvaguardar vidas y emprender, conjuntamente con las mismas todas las acciones previstas en el correspondiente Plan de Emergencias para controlar la situación.

En el caso de que el accidente se produzca durante la estancia en el fondeadero o estando a la espera de realizar operaciones de toma de combustible se cursará aviso inmediato a las Autoridades Marítimas y del puerto, informando de la situación y cumpliendo las instrucciones que se reciban de las mismas.

En líneas generales es recomendable emprender las siguientes acciones inmediatas:

- Determinar donde se ha producido la explosión o el fuego.
- Evacuar inmediatamente las personas que se encuentren en la zona del siniestro y procurar atención médica a los heridos, si los hubiese.
- Limitar el área afectada y disponer los medios necesarios para combatir el incendio, actuando de acuerdo con las instrucciones de emergencia para estos casos.

- Tratar de evaluar los daños, comprobando si se han visto afectados otros sistemas y equipos alejados del lugar del siniestro.
- Comprobar si a consecuencia de los daños producidos en el casco, maquinaria o equipos se ha producido un derrame de hidrocarburos al mar, y en el caso de incendio, si el producto derramado se encuentra ardiendo o si existe peligro de que tal situación se produzca.
- Si la explosión o el incendio se ha producido en un tanque de combustible, tratar de trasegar el contenido de dicho tanque a otros o a tierra (sí el buque está en puerto), a fin de reducir en lo posible la fuente de contaminación.

ABORDAJE

Cuando se produzca un abordaje con otro buque, se tomarán en principio todas aquellas medidas encaminadas a salvaguardar la seguridad de las personas y el buque.

Lista de comprobaciones para determinar el alcance de los daños sufridos y el estado del buque:

- ¿Se ha producido una penetración en los tanques de combustible por encima o por debajo de la flotación?
- Si ambos buques se encuentran trabados ¿qué parece más prudente; mantener esa situación o tratar de separarlos?
- ¿Se ha producido alguna contaminación por hidrocarburos en el mar?

- ¿Se produciría una mayor contaminación si se tratara de separar ambos buques, antes de tomar otras medidas que evitaran este peligro?
- ¿Existe peligro de explosión en uno de los buques, y en ese caso, de qué modo afectaría al otro buque si permanecieran unidos?
- ¿Existe peligro de hundimiento para alguno de los buques si ambos se separan?
- ¿Existe peligro para otros buques en caso de permanecer en la zona del siniestro, por tratarse de una vía de intenso tráfico marítimo?
- ¿Cuál es la capacidad de maniobra del propio buque, una vez que ambos se han separado?
- ¿Existe peligro de embarrancada en una costa próxima?

ESCORA EXCESIVA

Ante la posibilidad de que se produzca una escora excesiva, se deberán tener en cuenta las medidas a tomar en caso de encontrarse el buque en puerto o navegando:

En puerto:

- Al producirse una escora no controlada se pararán inmediatamente las operaciones que se estén realizando.
- Se realizará una inspección ocular en los costados del buque a fin de detectar cualquier pérdida.
- Se revisarán las operaciones que se estaban realizando por si pudiera existir algún fallo en el sistema con el que se estaba operando.
- Se sondarán los tanques de lastre y consumo, actuando inmediatamente en caso de existir el peligro de rebose debido al incremento de la escora.

- Se observarán las posibles variaciones en las sondas de los tanques contiguos y con diferentes niveles de líquido, por si pudiera existir trasvase de los mismos, bien por fallo en tuberías, válvulas, etc.
- Una vez detectada la causa se efectuarán los trasvases necesarios para restablecer la situación normal, no reanudando las operaciones hasta haber comprobado que el fallo o avería que ocasionó la escora no se haya solucionado satisfactoriamente.

En la mar:

Teniendo en cuenta que al no estar realizando operaciones en tanques las posibilidades de producirse una escora solo podrá ser causado por corrimiento de carga, rotura del casco o por trasvase de líquidos debido a fallo en tuberías, válvulas, etc. o por fisuras en mamparos.

En el caso de haberse producido una avería en el casco se tratará de evitar la salida del producto contaminante al mar, en caso contrario, se sondarán todos los tanques de combustible y lastre para detectar variaciones con respecto a la situación de consumos o lastre en la que se encontraba el buque antes de producirse la escora.

Si la avería fuera debida al fallo en la tubería y/o válvulas de las líneas internas se procurará restablecer la situación inicial mediante trasiegos y, en todos los casos se procurará, dentro de lo posible, restablecer la situación normal.

ESQUEMA GENERAL DE DECISIONES Y ACCIONES A TOMAR EN TODOS LOS CASOS

Organigrama de acciones y decisiones generales. En todo accidente o incidente que pueda suponer una contaminación del mar, es recomendable seguir el "Organigrama de Decisiones", que a continuación se expone:



Ilustración 26. Organigrama de decisiones. Manual del plan de contingencias por derrame de hidrocarburos Buque Oceanográfico Costero Ángeles Alvariño

4.9. PROCEDIMIENTO DE NOTIFICACION EN CASO DE CONTAMINACION

Como hemos comentado en los inicios de este apartado, en caso de que un buque esté implicado en un suceso de contaminación, se deben de notificar tanto el Estado costero o Autoridad Portuaria, según corresponda, como a los intereses relacionados con el buque. A continuación desarrollaremos cómo sería el desarrollo de esta notificación incluyendo un ejemplo y un organigrama del procedimiento de notificación, de acuerdo con MARPOL 73/7.

NOTIFICACIÓN DEL ACAECIMIENTO A LAS AUTORIDADES MARÍTIMAS

El Artículo 8 y el Protocolo I de MARPOL 73/78, exige que se notifique al Estado ribereño más próximo de una descarga o probable descarga de hidrocarburos al mar. La intención de este requisito es asegurarse que los estados ribereños son informados sin demora de cualquier suceso que implique una contaminación, o amenaza de contaminación, del entorno marino, así como la necesidad de medidas de salvamento y asistencia, para que se tomen las acciones apropiadas.

El procedimiento que debe de seguir el Capitán u otra persona al mando del buque después de un suceso de contaminación, está basado en la directrices aprobadas por la Organización Marítima Internacional (OMI) , en su Resolución A.851 (20).

EN PUERTO

Si durante la estancia del buque en puerto o en las operaciones de toma de combustible o estancia en el fondeadero, se produjese un derrame de hidrocarburos al mar procedente del buque o a consecuencia de las operaciones realizadas por este, el Capitán comunicará inmediatamente el hecho a la Autoridad Marítima del puerto correspondiente, facilitando la siguiente información:

- Nombre y Bandera del buque.
- Fecha y hora local del suceso.
- Tipo de accidente (por ejemplo: rotura mangueras, rebose, explosión, incendio, etc.).
- Identificación del producto derramado (por ejemplo: tipo de combustible, gas-oil, fue-oil, gasolina, etc.).
- Cantidad derramada estimada (en metros cúbicos).
- Situación y extensión del derrame (por ejemplo: muelle de poniente, 20 metros de largo por 5 metros ancho).
- Medidas tomadas para detener el derrame y combatir la contaminación.
- Consignatario del buque en ese puerto.
- Armador del buque, dirección, teléfono, E-mail y Telefax
- Club P & I del buque, dirección, teléfono, E-mail y telefax; así como de su representante en ese puerto si lo hubiera.

El Capitán del buque seguirá en toda momento las indicaciones de la Autoridad Marítima Local, colaborando con todos los medios disponibles a bordo para confinar y recuperar el hidrocarburo derramado; asimismo, deberá realizar las operaciones necesarias a bordo para disponer de un tanque donde depositar la mezcla de agua e hidrocarburo recuperada, hasta su descarga a una instalación de recepción en tierra.

EN LA MAR

Si el buque se encontrase navegando en el momento de producirse una contaminación del mar por hidrocarburos u ocurriese algún suceso que pudiera dar origen a un derrame de hidrocarburos en el mar, se notificará inmediatamente el hecho a las Autoridades Marítimas Nacionales del País o Países más próximos a su posición geográfica al que facilitará la información precisa de acuerdo con el modelo de Notificación codificado aprobado por la Organización Marítima Internacional (OMI) en su Resolución A.851.

¿CUÁNDO HAY QUE NOTIFICAR UNA DESCARGA DE HIDROCARBUROS AL MAR?

DESCARGA O VERTIDO REAL

Se debe de notificar en los casos que haya:

- Una descarga o vertido de hidrocarburos resultante de una avería al buque o a su equipo.
- Una descarga o vertido intencionado con el propósito de mantener la seguridad del buque o salvar vidas en la mar.
- Si durante las operaciones de trasiego de combustible se produce un rebose con vertido a la mar que supere la cantidad o el régimen instantáneo de descarga permitido según la normativa de contaminación aplicable.
- Las notificaciones a los estados ribereños se realizarán según el formato establecido en el ejemplo al final de esta.

PROBABILIDAD DE UNA DESCARGA

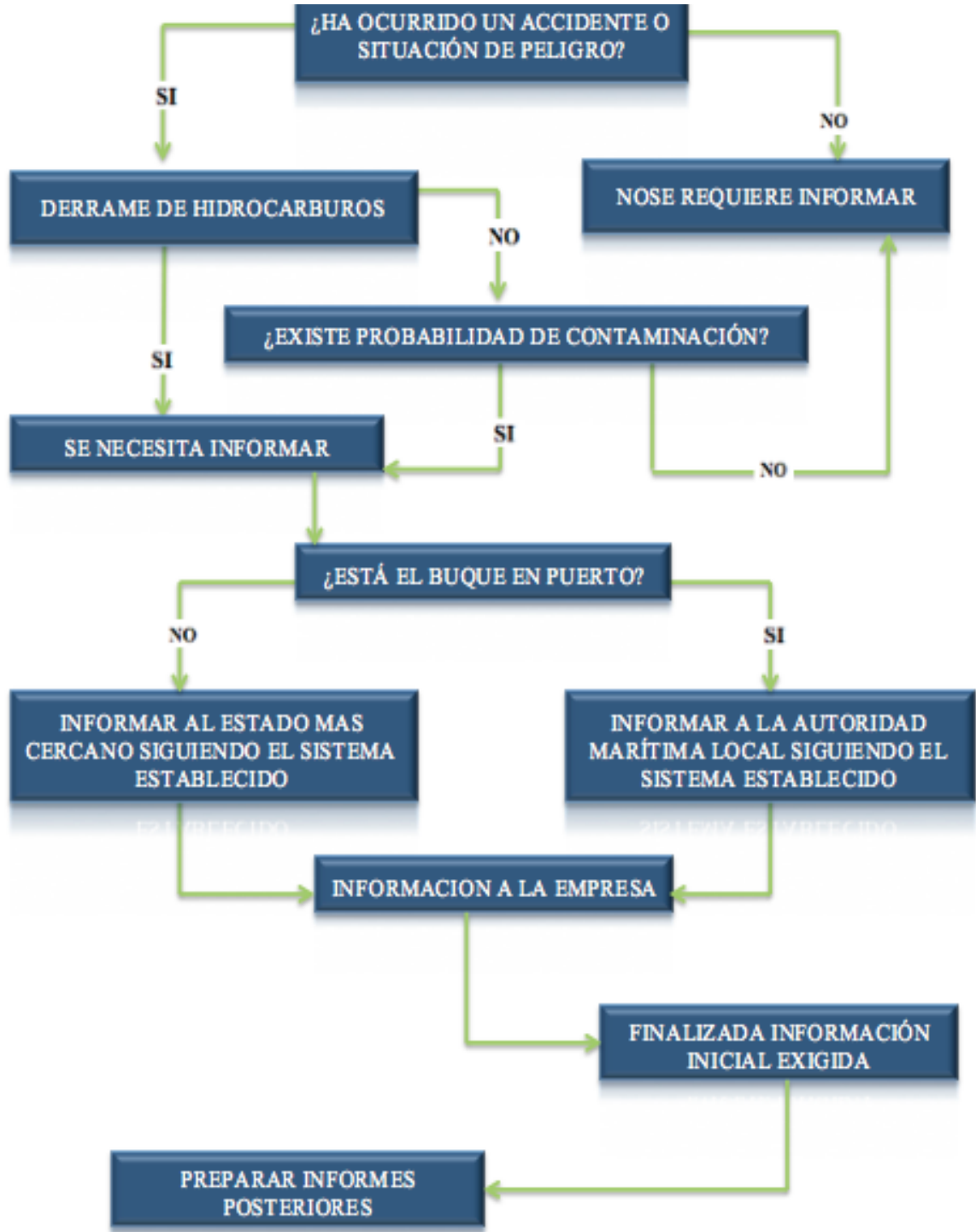
Aunque no haya ocurrido de hecho una descarga, se requiere notificar, en el caso de que exista la probabilidad de que esta tenga lugar. Para juzgar cuando existe esta probabilidad, y consecuentemente si la notificación debe de ser enviada, se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- La naturaleza del daño sufrido por el buque
- Fallo o avería de maquinaria o equipo que pudiera afectar adversamente la capacidad de maniobra del buque, la operación de bombas, etc.
- La situación del buque y su proximidad a tierra u otros peligros de la navegación
- Las condiciones meteorológicas reinantes, mareas, corrientes y estado de la mar
- Previsiones meteorológicas

- Densidad del tráfico
- Capacidad, condiciones físicas y moral de la tripulación para afrontar la situación
- Como guía general el Capitán debería de notificar, en los casos de:
- Daños, fallos o averías que afecten a la seguridad del buque u otros buques. Ejemplos de estas situaciones son: abordaje, embarrancada, fuego, explosión, fallos estructurales, inundación o corrimiento de carga;
- Fallos o averías de maquinaria o equipos que tengan como consecuencia el deterioro de la seguridad en la navegación.

Ejemplos de estas situaciones son: avería en el gobierno, propulsión, sistema de generadores eléctricos o ayudas a la navegación esenciales del buque.

Ilustración 27. Diagrama requisitos de información. Manual del plan de contingencias para derrame de hidrocarburos Buque oceanográfico costero Ángeles Alvariño



INFORMES POSTERIORES

Una vez que el buque ha transmitido la notificación inicial, se deberán enviar informes posteriores a intervalos regulares, para mantener informadas a las personas implicadas.

Los informes posteriores a los estados costeros deberían siempre ser enviados siguiendo el formato indicado posteriormente incluyendo información de cualquier cambio significativo en las condiciones del buque, el régimen instantáneo de descarga y esparcimiento de los hidrocarburos, condiciones meteorológicas, así como detalle de las delegaciones estatales que han sido informadas y de las medidas de lucha tomadas.

Tanto la notificación como los informes posteriores deben ser transmitidos por el medio disponible más rápido a las Autoridades responsables del estado costero más cercano o a su Centro de Coordinación de Salvamento, vía de la estación costera más apropiada. Si el buque se encuentra dentro o cerca de un área para la cual se haya establecido un sistema de información, los informes deben ser transmitidos vía la estación designada de tierra para cubrir este sistema.

Para finalizar el apartado, veremos ahora cómo debe ser el formato del informe final, toda la información necesaria requerida y algunos ejemplos para una mayor comprensión de esta simulación.

CODIGO	INFORMACIÓN REQUERIDA	EJEMPLO DE MENSAJE
SP	Plan de notificación	
PR	Notificación de la situación	
DR	Notificación de cambio de derrota	
FR	Notificación final	
DG	Notificación relativa a mercancías peligrosas	
HS	Notificación relativa a sustancias perjudiciales	
MP	Notificación relativa a contaminantes del mar	
A	Nombre del buque, señal distintiva y bandera	A: LUISILLO – EHGS - ESPAÑA
B	Fecha y hora UTC	B: 052145 (Día 5 a las 21 h 45 m UTC)
C	Situación	C: 4035N – 01328W (Latitud =40° 35´ N; (Longitud=013° 28´W)
D	Situación por Demora verdadera y distancia a un punto de la costa	D: 246-160 Cabo Silleiro (Dv= 246° a 160 millas)
E	Rumbo	E: 060
F	Velocidad en nudos y en décimas (3 cifras)	F:145 (14,5 nudos)
G	Puerto de Procedencia (Nombre y País)	G: PALUA- Venezuela
H	Fecha, hora UTC y punto de entrada en el sistema	Hora de entrada como en (B) y situación como en (C) o en (D)
I	Puerto de Destino (Nombre y País) y E.T.A.	I:GIJON-España- 061000
J	Práctico	J:Práctico de altura a bordo
K	Fecha, hora UTC y punto de salida del sistema	K:Hora de salida como en (B) y situación como en (C) o en (D)
L	Derrota proyectada	L: RUMBO DIRECTO A CABO PEÑAS
M	Estaciones radioeléctrica escuchadas	M:CORUÑA/GIJÓN RADIO
N	Fecha y hora de la próxima comunicación	N:Hora como en (B)
O	Calado máximo actual en condiciones estática	O: 0450 (4 metros y 50 cm)
P	Cargamento a bordo: tipo, nombre y cantidad (en Tm ó Metros Cúbicos)	P: MINERAL DE HIERRO 75.300 TM
Q	Causa del accidente y averías sufridas	Q: Vía de agua en tanque de combustible nº 3 Er. Por golpe de mar
R	Contaminación producida: clase de combustible, cantidad derramada al mar, extensión de la contaminación y situación geográfica de la mancha	R: Fuel Oil- 60 TM-5 millas cuadradas – 4033N-01330W (1)
S	Condiciones meteorológicas reinantes	S: Viento NW7 – Mar TENDIDA NW – Olas 5 m.
T	Identificación del Armador, Consignatario en el puerto de llegada y Asegurador del buque	T: Armador: NAVIERA SOPINPA S.A. Teléf, E-mail, Fax. Consignatario: PONSECUR. Teléf, E-mail. Fax. P & I Club: PIMPY CLUB. Teléf. E-mail. Fax.
U	Tipo y dimensiones del buque: eslora, manga y arqueo.	U: E= 270m. M= 45m. TRB= 85.401 TRN= 55.000
V	Personal sanitario	V: Personal sin formación médica
W	Personas	W: 25
X	Varios: Información complementaria (p.e: medidas adoptadas para minimizar o detener el derrame, servicios de salvamento contratados, etc.)	X: Efectuando trasiego de combustible del tanque nº 3, Er. A los demás tanques- Solicitado remolque a empresa “R” de Vigo- se espera llegada remolcador “ T” a las 0215 día 6
Y	Solicitud de retrasmisión de la notificación a otro sistema como por ejemplo AMVER, AUSREP, JASREP, MAREP etc...)	Contenido de la notificación
Z	Final de la notificación	Z: Fin de la notificación

Ilustración 28. Formato de informe de notificación aprobado por la OMI en la Resolución A.851. Plan de contingencias por derrame de hidrocarburos buque Ángeles Alvariño

6. SISTEMAS DE MODELACIÓN. MODELOS DE ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL DERRAME

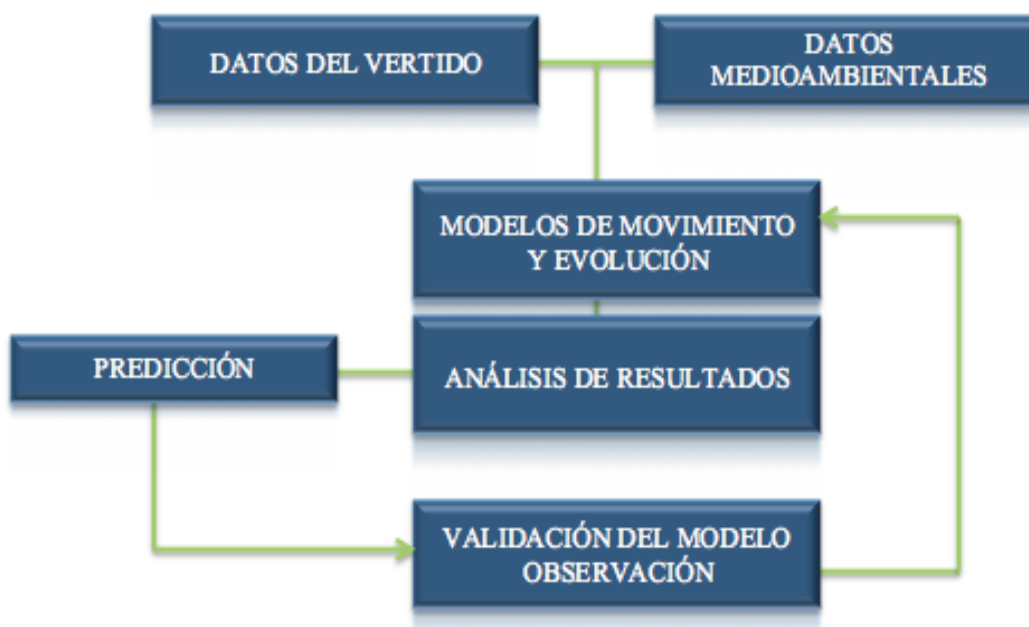
Ya hemos comprobado la importancia de las medidas que hacen posible que un derrame no se llegue a producir, ahora, una vez vertido al mar, entran en juego otra serie de medidas de igual o mayor relevancia.

Si se lleva a cabo una gestión correcta, las consecuencias del vertido serán menores, debido a esto, ha ido surgiendo a lo largo de los años la preocupación de predecir eficazmente el comportamiento del petróleo derramado en las horas posteriores y no solo de supervisión y seguimiento. Los vertidos de hidrocarburos crean graves impactos tanto socio-económicos como ambientales, impactos que se pueden reducir con el uso de sistemas de modelación que permiten predeterminedir la extensión y los alcances del derrame, dando la posibilidad de llevar a cabo un seguimiento de su posible futura evolución.

La existencia de modelos hidrodinámicos y herramientas de software para la simulación gráfica permiten la interpretación del estado actual y futuro de la zona estudiada, esto es posible gracias al desarrollo y aumento, tanto de la capacidad de cálculo de los ordenadores, como de las técnicas de simulación matemáticas.

Las previsiones de cualquier sistema de modelación se basan en la combinación de datos del vertido y de las condiciones meteorológicas, vientos y corrientes en la zona, con estos datos y se procede a la utilización de los modelos matemáticos que desarrollan el desplazamiento neto del vertido en tiempo y escala controlado. Como estos factores llevan asociado un alto nivel de incertidumbre el cálculo se debe realizar con varios modelos hasta la obtención de una predicción realista.

Ilustración 29. Análisis de trayectoria sistemas de modelación. CONSEMAR



Llevar a cabo el análisis de la trayectoria supone lograr la mejor estimación del movimiento y evolución del hidrocarburo, además de la incertidumbre tanto del vertido como de la variabilidad de los datos.

Los principales fines u objetivos de estos sistemas de modelado son los siguientes:

- PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL VERTIDO
- ESTIMACIÓN DE LAS ZONAS DE MAYOR RIESGO O PROBABILIDAD DE IMPACTO
- IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES
- CÁLCULO DE LAS HORAS DE LLEGADA DEL VERTIDO A LA COSTA
- EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LIMPIEZA

Por lo tanto, los sistemas de modelación juegan un papel importante en la evaluación de los riesgos e impactos sobre los recursos naturales por derrames, ya sean reales o potenciales. Además, son también útiles para el desarrollo de estrategias para la planificación y respuesta ante emergencias por accidentes.

Algunos de estos sistemas de modelado son, entre otros; Sistema de Modelado Costero “SMC”, The Oscar Model, Visual PLUME o MOHID, siendo este último el que desarrollaremos a continuación, descubriendo cuáles son sus principales funciones, como ha ido evolucionando con el paso de los años y algunos de sus estudios más destacados.

6.1. SISTEMA MOHID

6.1.1 GENERALIDADES

MOHID es un sistema de modelación de agua tridimensional desarrollado por MARETEC (Marine and Environmental Technology Research Center “Centro de Investigación Tecnológico Marino y Medioambiental”) en el Instituto Superior Técnico de La Universidad Técnica de Lisboa (IST).

El sistema permite tratar una especie de modelación integrada en diferentes escalas y sistemas, estuarios y líneas divisorias de las aguas. Esto es posible al contar con tres instrumentos, MOHID Water, MOHID Land y MOHID Soil, la integración de estas tres herramientas hace posible el estudio del ciclo del agua en una aproximación integrada y desde que estos instrumentos están situados en la misma estructura, el acoplamiento de ellos es alcanzado de forma fácil y eficaz.

Ha sido utilizado en proyectos de investigación e ingeniería, siendo aplicado para diferentes casos de estudio, como áreas de costa, estuarios, embalses o protuberancias oceánicas. Su carácter predictivo permite tener un conocimiento cuantitativo y cualitativo de las diversas características físicas, biológicas y químicas de una región en particular.



Ilustración 30. Logotipo MOHID. <http://www.mohid.com>

Podríamos diferenciarlo del resto de programas de moldeado debido a varios factores, uno de ellos es la integración anteriormente explicada que es posible llevar a cabo, también es importante destacar que es un software libre, de alta fiabilidad y que posibilita la opción de realizar proyectos comunes. Otra de las novedades es la configuración 3D y la adición de efectos baroclínicos.

No se trata de una herramienta de trabajo e investigación pendiente de experimentar, lleva más de diez años de desarrollo y continuas mejoras que han hecho posible la existencia del sistema actual que se abre cada vez con más fuerza a nuevos mercados.

6.1.2 HISTORIA Y DESARROLLO

El origen del nombre del sistema surge proviene del acrónimo de “modelo hidrodinámico” quedando como resultado la abreviatura MOHID. El desarrollo del modelo comienza en el año 1985 en el Instituto Superior Técnico (IST) y la Escuela de Ingeniería de la Universidad Técnica de Lisboa y uniéndose más tarde al proyecto investigadores de MARETEC (“Marine, Environment & Tecnología Center”, “Centro de Ambiente y Tecnologías Marítimas”).

MARETEC es un centro especializado en aplicaciones del medio acuático que aborda sistemas medioambientales dando prioridad a proyectos multidisciplinarios que incluyen calidad de agua, ecología y transporte de sedimentos. El modelado ambiental en MARETEC surgió como

novedad en los primeros años de la década de los ochenta desarrollando modelos hidrodinámicos basados en las ecuaciones de aguas someras y ha ido evolucionando como resultado de sus propias actividades.



Ilustración 31. Logotipo MARETEC. <http://www.maretec.org>

Inicialmente, el sistema consistía en un modelo hidrodinámico bidimensional, permitía realizar simulaciones únicamente en dos dimensiones, era llamado en ese momento “MOHID 2D” (Neves 1985) y utilizaba el paradigma de diferencias finitas para la discretización del dominio y centrado básicamente en el estudio de estuarios y áreas de costa.



Ilustración 32. Logotipo Instituto Técnico de Lisboa. <http://www.mohid.com>

La primera versión tridimensional, “MOHID 3D”, fue introducida en el año 1995 y presentó ciertas limitaciones, surgiendo así la necesidad de desarrollar una posterior versión basada en un modelo de coordenadas verticales llamado double Sigma, permitiendo al usuario elegir entre varias coordenadas, dependiendo del principal proceso en el estudio del área.

Finalmente en 1999 se introduce el paradigma de volúmenes finitos mediante la versión “Mesh 3D” con la intención de generalizar el uso de diferentes sistemas de coordenadas y subsanar las limitaciones anteriores. En el modelo “Mesh 3D” fue incluido un modelo tridimensional de transporte euleriano, un modelo tridimensional de transporte lagrangiano y el modelo unidimensional de calidad del agua denominado “Miranda,1999”, convirtiéndose entonces, tras la introducción del enfoque de volúmenes finitos, en un modelo MOHID muy similar al que conocemos actualmente.

Con la creciente complejidad del modelo, era necesario introducir una nueva forma en la organización de la información, debido a esto el sistema fue sometido a un reordenamiento completo con el principal objetivo de hacer el modelo más robusto y fiable y proteger su estructura frente a errores involuntarios de programación. Surge así un modelo orientado a objetos para los cuerpos de agua superficiales.

Al igual que ha crecido la capacidad de los ordenadores y sus herramientas, se han desarrollado e integrado modelos más genéricos en el sistema, sufriendo continuos cambios y actualizaciones fruto de necesidades que han surgido en su uso, tanto en investigaciones como en proyectos de ingeniería, llegando al sistema MOHID conocido hoy en día que permite hacer uso de cualquier dimensión (unidimensional, bidimensional o tridimensional).

Actualmente el sistema está siendo utilizado y mejorado por una compañía privada llamada HIDROMOD, en el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil (LNEC) y en varias universidades tanto dentro como fuera de Portugal.



Ilustración 33. Logotipo HIDROMOD. <http://www.mohid.com>



Ilustración 34. Logotipo ACTION MODULERS. <http://www.mohid.com>

6.1.3 DEFINICION Y FUNCIONAMIENTO

Actualmente, el modelo se presenta como un fuerte instrumento en la práctica científica y profesional de la ingeniería ambiental, suponen de esta forma herramientas indispensables para el estudio de gran cantidad de fenómenos que influyen en el medio ambiente. El sistema es capaz de analizar el movimiento de las masas de agua en diferentes ámbitos y condiciones de flujo, en otras palabras, simula el flujo en diversos cuerpos de agua, tanto en ríos, como en estuarios o océanos.

El programa está compuesto por herramientas de pre-procesamiento de una interfase gráfica, mediante estas herramientas se realiza la implementación de modelos y herramientas para lograr el post-procesamiento de los resultados. Desde el enfoque de modelación de ecosistemas marinos, MOHID se basa también de más de cuarenta módulos que interactúan y se acoplan para el desarrollo de modelos en un amplio campo de aplicaciones, por ejemplo, el módulo hidrodinámico del sistema corresponde a un modelo baroclínico 3D implementado mediante volúmenes finitos cuyo objetivo es resolver las ecuaciones primitivas suponiendo un equilibrio hidrostático y utilizando la Aproximación de Boussinesq.

El programa utiliza técnicas de modelación, simulación y optimización mediante la aplicación de métodos numéricos para encontrar soluciones a los sistemas de ecuaciones diferenciales parciales, estos métodos son; el método de las diferencias finitas (FDM), más bien utilizado en sus versiones iniciales y el método de los volúmenes finitos (FVM), utilizado en la versión actual.

MÉTODO DE LOS VOLÚMENES FINITOS

MOHID está basado en un enfoque de “volúmenes finitos” y gracias a ello permite el uso tanto de coordenadas verticales (sigma, cartesianas, lagrangianas), como de formulaciones de la advección tanto eulerianas como lagrangianas, manteniendo de esta forma la integración entre los procesos físicos y ecológicos.

El método de los volúmenes finitos es una herramienta usada en gran número de aplicaciones actualmente, esto se debe a que permite resolver ecuaciones diferenciales y modelar

problemas hidrodinámicos. Trabaja calculando capa por capa de flujo e integrándolo mediante sumatorios.

La discretización espacial utilizando la técnica de enfoque de volumen finito (las coordenadas espaciales son independientes, y cualquier geometría se pueden elegir para cada dimensión) permite una mayor flexibilidad en la subdivisión del dominio vertical y horizontal, y en la aplicación de las coordenadas verticales.

Como hemos ido desarrollando a lo largo del proyecto, el estudio hidrodinámico de muchas zonas es de gran importancia para la comprensión, predicción y control de los procesos físicos que se producen en ellas, sirviendo como base para sistemas como MOHID que estudian el transporte de contaminantes.

Realizar ensayos de laboratorio y mediciones experimentales resulta complicado y de gran coste económico, siendo estos dos aspectos que hacen de la modelización numérica una herramienta útil para el estudio, pues permite llegar al impacto que puede provocar una futura actuación y evaluar escenarios hipotéticos con un coste temporal y económico bastante bajo.

ENFOQUE LAGRANGIANO Y EULERIANO

Otros factores importantes para el desarrollo de la aplicación son el enfoque lagrangiano y euleriano, se trata de especificaciones que pueden aplicarse en cualquier marco de referencia del observador y en cualquier sistema de coordenadas y que suelen estar referidas a plantillas de trazos como modelos de seguimiento de partículas. Es decir, son dos formas de ver la mecánica de medios continuos y ,en este caso, fluidos.

La especificación lagrangiana logra una perspectiva en la que el observador sigue una parcela de fluido individual mientras esta se mueve a través del espacio y el tiempo y logrando con esto la línea de corriente de la parcela.

Por el contrario, la especificación euleriana logra el enfoque de la corriente desde lugares específicos a través de los cuales fluye el flujo a medida que pasa el tiempo pero con visión desde un punto fijo del espacio.

En algunas ocasiones conviene utilizar ambos sistemas al mismo tiempo, trabajando con materiales diferentes y pondremos en este caso el siguiente ejemplo:

En el estudio de la caída de copos de nieve, se trabajaría con un modelo matemático en el que los copos de nieve resultan pequeñas partículas puntuales simuladas mediante descripción lagrangiana, en cambio, la parte gaseosa de la atmósfera transcurrirá como un gas continuo mediante descripción euleriana.

Los resultados posteriores constituyen el punto de partida para llevar a cabo diseños y simulaciones hidráulicas con el posterior objetivo de conocer la respuesta de los sistemas naturales frente a diversos problemas ambientales.

PRINCIPALES PROPIEDADES

- POSIBILIDAD DE EJECUTAR DIFERENTES APLICACIONES AL MISMO TIEMPO.
- FÁCILMENTE ADAPTABLE A LAS NUEVAS ÁREAS DE APLICACIÓN.
- POSIBILIDAD DE UTILIZAR DIFERENTES PASOS DE TIEMPO PARA DIFERENTES MÓDULOS.
- PERMISOS PARA UTILIZAR EL MODELO EN CUALQUIER DIMENSIÓN; 1, 2 O 3 DIMENSIONES.
- DISCRETIZACIÓN ESPACIAL MEDIANTE LA TÉCNICA DEL ENFOQUE DE VOLÚMENES FINITOS.
- PUEDE UTILIZAR MODELOS ANIDADOS, LIMITADO ÚNICAMENTE POR LA POTENCIA DE CÁLCULO DISPONIBLE.
- POSIBILIDAD DE FUNCIONAMIENTO EN PARALELO DE DIFERENTES MODELOS EN PROCESADORES SEPARADOS, PERMITIENDO ASÍ UNA GANANCIA MUY SIGNIFICATIVO EN EL CÁLCULO DE TIEMPO.

6.1.4 MODULOS DEL SISTEMA

Actualmente el modelo está compuesto por unos cuarenta módulos, los cuales completan 150000 líneas de código. Cada uno de estos módulos se encarga de gestionar ciertos dominios y tipos de información. Veremos en la siguiente tabla algunos de los módulos más destacados y usados.

NOMBRE DEL MODULO	DESCRIPCIÓN DEL MODULO
MODELO	Administra el flujo de información entre el módulo hidrodinámico y los dos módulos de transporte y la comunicación entre modelos anidados.
HIDRODINÁMICO PROPIEDADES DEL AGUA	Calcula el nivel del agua, velocidades y flujos de agua. Modelo de transporte euleriano. Gestiona la evolución de las propiedades del agua (temperatura, salinidad, oxígeno, etc.)
LAGRANGIANO	Modelo de transporte lagrangiano. Gestiona la evolución de las mismas propiedades que el módulo anterior usando enfoque lagrangiano. También puede ser usado para simular dispersiones de aceites
CALIDAD DEL AGUA	Modelo de calidad del agua de dimensión cero. Simula el oxígeno, nitrógeno y ciclo del fósforo.
DISPERSION DE ACEITE	Simula el aceite propagado debido a gradientes de espesor y procesos internos como evaporación, emulsificación, dispersión, disolución y sedimentación.
TURBULENCIA	Modelo de turbulencia unidimensional. Utiliza la formulación del modelo GOTM.
GEOMETRÍA	Almacena y actualiza la información sobre el paradigma de volúmenes finitos.
SUPERFICIE	Las condiciones de contorno en la parte superior de la columna de agua.
FONDO	Las condiciones de contorno en la parte inferior de la columna de agua.
ABRIR LÍMITE	Las condiciones de contorno en la frontera con el mar abierto.
DESCARGAS	Descargas de agua de río o antropogénicas
ARCHIVO HIDRODINÁMICO	Módulo auxiliar para almacenar la solución hidrodinámica en un archivo externo para su posterior uso.

Ilustración 35. Módulos del sistema MOHID

6.1.5 DOMINIOS DE LA APLICACIÓN

El sistema puede llegar a trabajar en varios ámbitos, no se centra solamente en el control de derrames de hidrocarburos, también estudia el transporte de sedimentos, la salinidad, temperatura, así como la calidad del agua mediante el análisis de clorofila, fitoplancton o coliformes fecales o proyectos sobre el flujo del agua en el suelo. Además, contiene un amplio campo de áreas de trabajo; océano abierto, áreas costeras, estuarios, cuencas e incluso suelo.

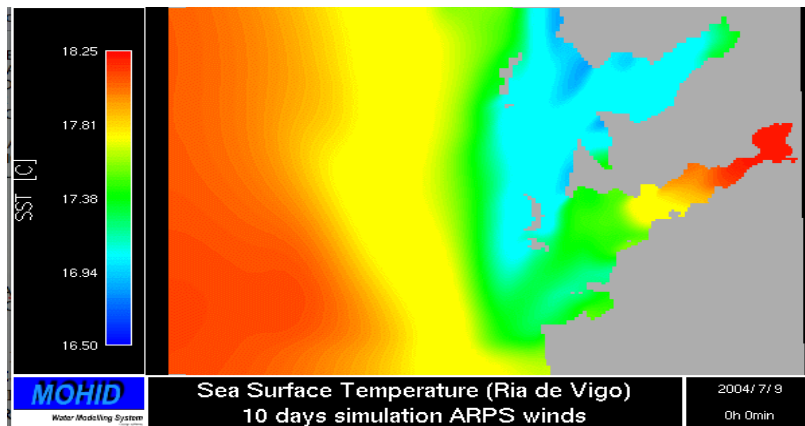


Ilustración 36. Ría de Vigo, Galicia. Variación de Temperatura Superficial. <http://www.mohid.com>

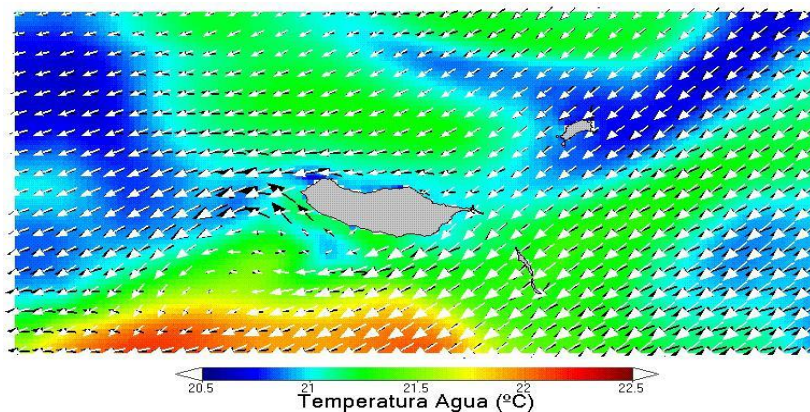


Ilustración 37. Océano abierto Archipiélago de Madeira. Variación Temperatura Superficial. <http://www.mohid.com>

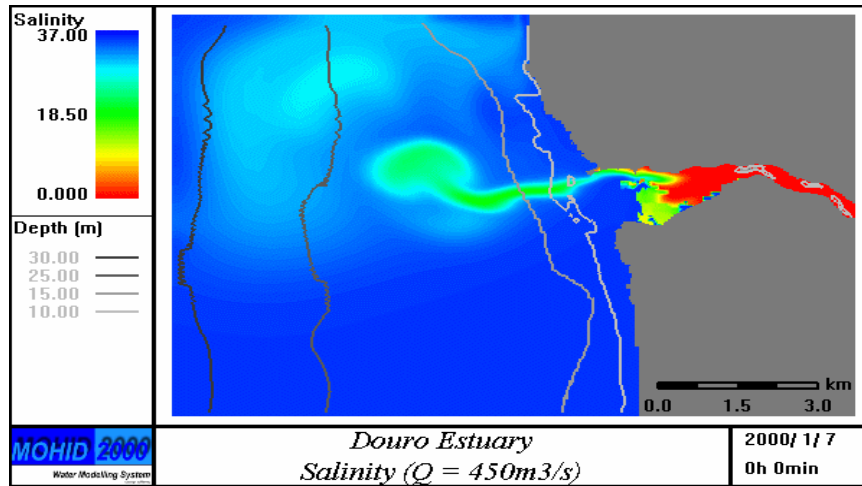


Ilustración 38. Estuario Rio Duero, Oporto. Variación de salinidad. <http://www.mohid.com>

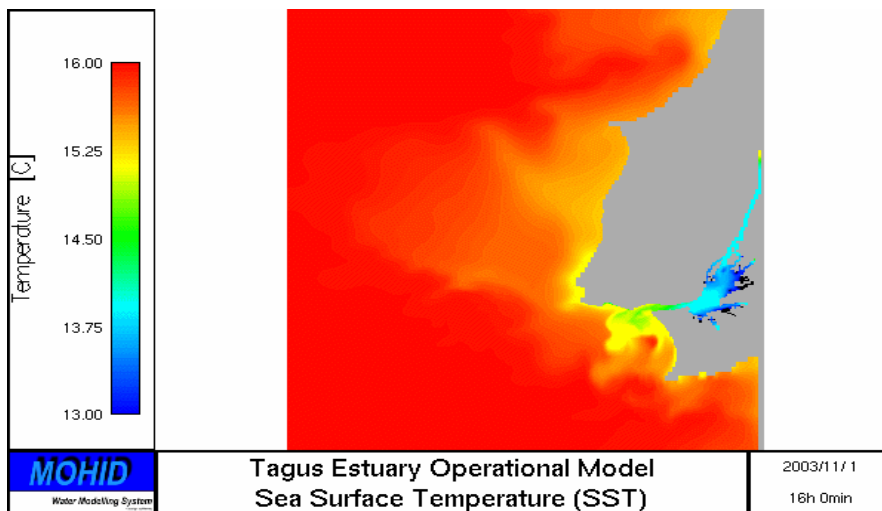


Ilustración 39. Estuario Rio Tajo, Lisboa. Variación de Temperatura Superficial. <http://www.mohid.com>

6.1.6 SIMULACIÓN BAHÍA DE CAMPOS, BRASIL

A lo largo de estos años se han desarrollado numerosos estudios que cubren diferentes propósitos y zonas con características variadas, se han mostrado las animaciones de algunos en el anterior apartado, estudios de estuarios como los del río Lima, Duero, Mondego, Tejo, Sado, Mira, Arade y Guadiana, además Rías como la de Aveiro, Formosa, Vigo o la Ría de Pontevedra y también reservas de agua dulce como Monte Novo, Alqueva o Roxo, situadas en Portugal. Además de la costa Atlántica y la Península Ibérica, se han llevado a cabo trabajos de estuarios en el resto de Europa, por ejemplo, el estuario de Gironde en Francia, o el estuario de Western Sheldt, al suroeste de los Países Bajos.

Tomaremos a continuación como ejemplo el desarrollo modelado realizado en la Bahía de Campos en Brasil, al mostrar los objetivos que hemos querido transmitir a lo largo del proyecto de una forma clara y concisa.



Ilustración 40. Vista Satélite vertido Bahía de Campos.<http://www.urgente24.com/17340-grave-chevron-desinformo-sobre-el-derrame-en-bahia-de-campos>

El día 8 de Noviembre de 2011 se inició un derrame de petróleo provocado por una filtración de crudo desde el suelo submarino, exactamente en el campo de Frade, descubierto en el año 2008, situado a 370 km al nordeste de la costa del Estado de Rio de Janeiro y a 12000 metros de profundidad. Continuas exudaciones de petróleo emergían del fondo del océano causando un gran daño ecológico de enormes proporciones en las costas de la Bahía de Campos.



Ilustración 41. Campo de Frade al Nordeste de Rio de Janeiro.
<http://noticias.masverdedigital.com/brasil-chevron-paga-17-millones-de-dolares-por-derrame-de-petroleo/>

De esta forma se vio óptimo comenzar el proyecto de modelación del vertido mediante el sistema MOHID, surgiendo como fruto final tras el proceso de desarrollo la simulación que veremos en las siguientes líneas.

Observamos con el paso de las diapositivas como el vertido fluye guiado tanto por el viento, representado en la parte superior izquierda por una flecha roja, como por la corriente, representada sobre la superficie oceánica con flechas negras. Como hemos comentado, cabe destacar la relevante importancia del viento y la corriente, pues designarán el rumbo final de la mancha y en consecuencia, las zonas especialmente afectadas. La dirección del viento varía desde norte hasta sur, la mayoría del tiempo tomando fuerza del noroeste, mientras que la corriente va bañando la costa dirección sur.

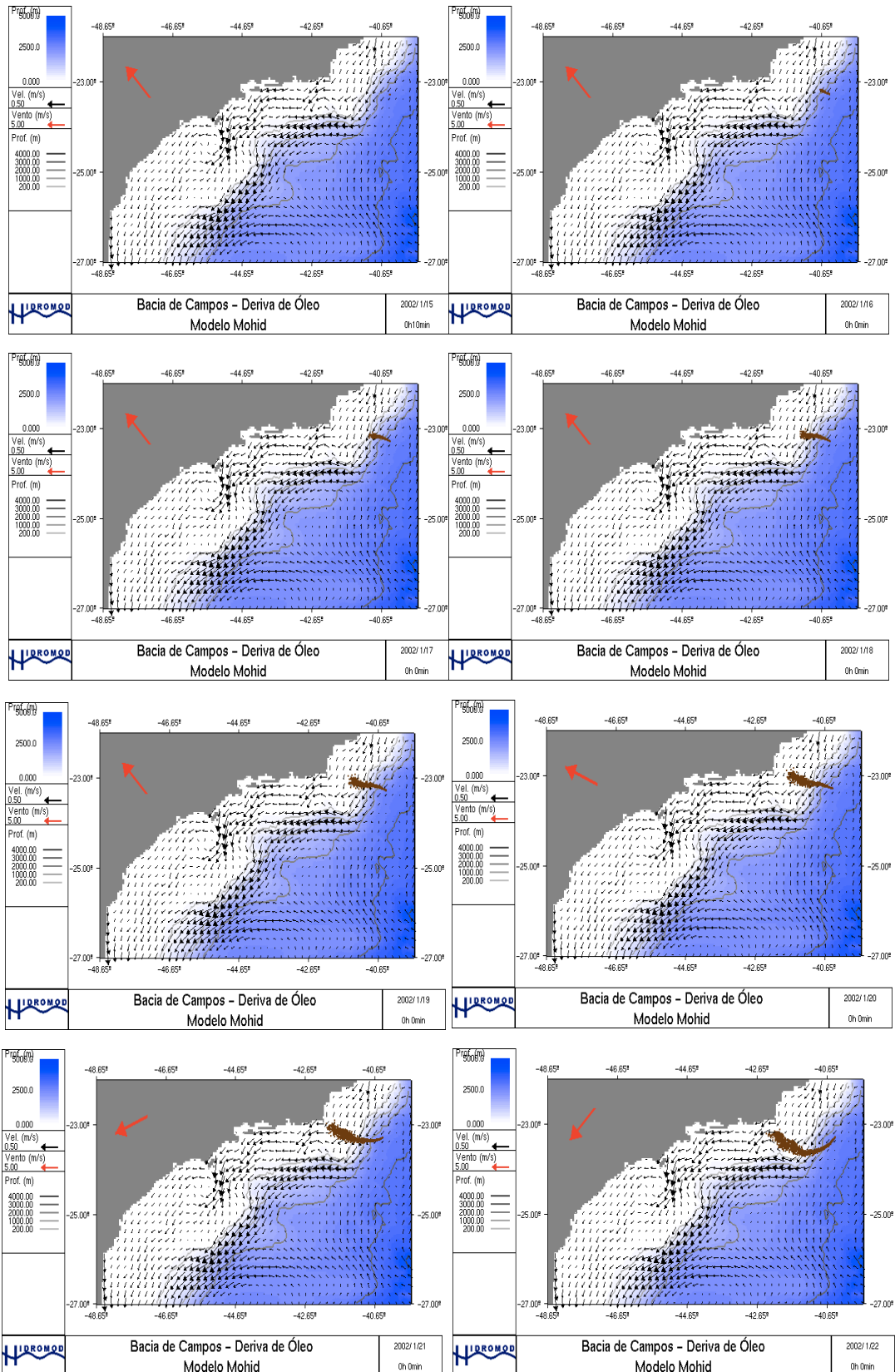
El vertido comienza a resurgir desde los fondos marinos tomando, en sus primeros momentos y a medida que se expande a lo largo de la superficie, una fuerte dirección hacia el nordeste guiada por la fuerza del viento.

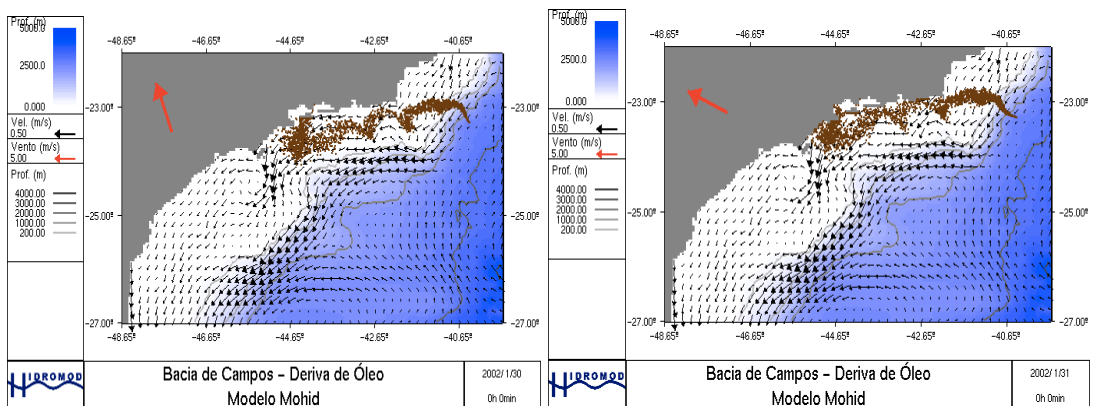
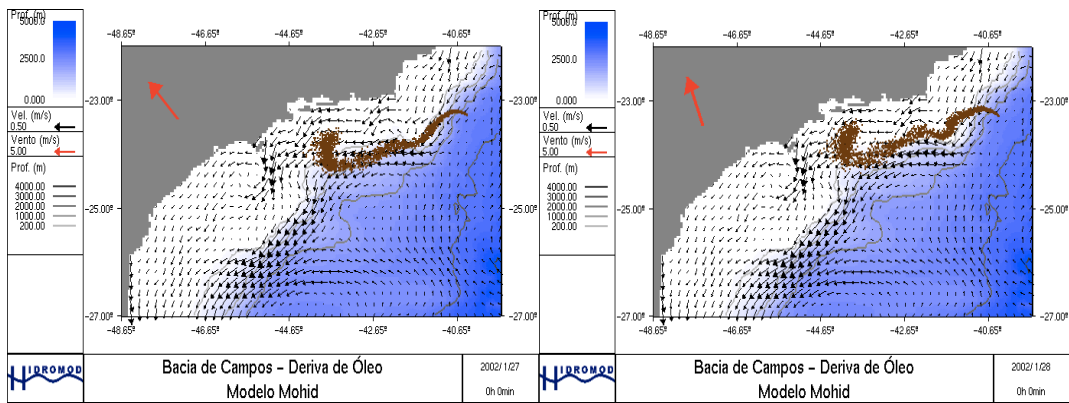
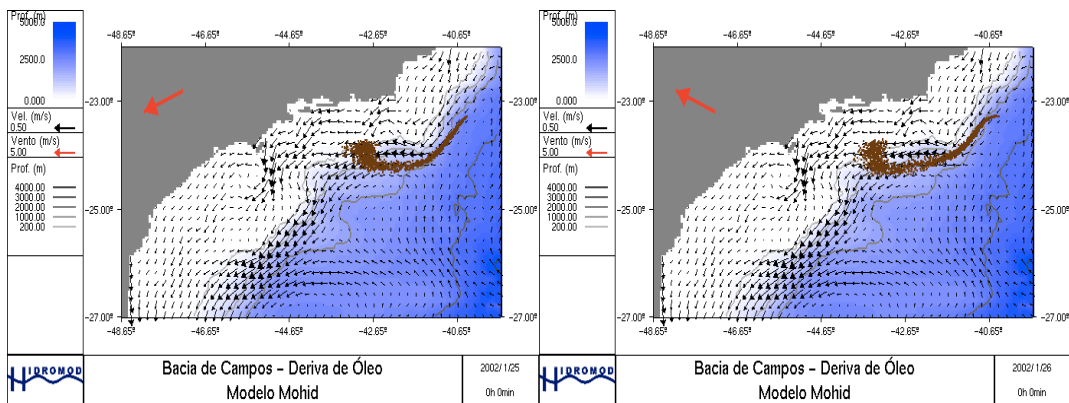
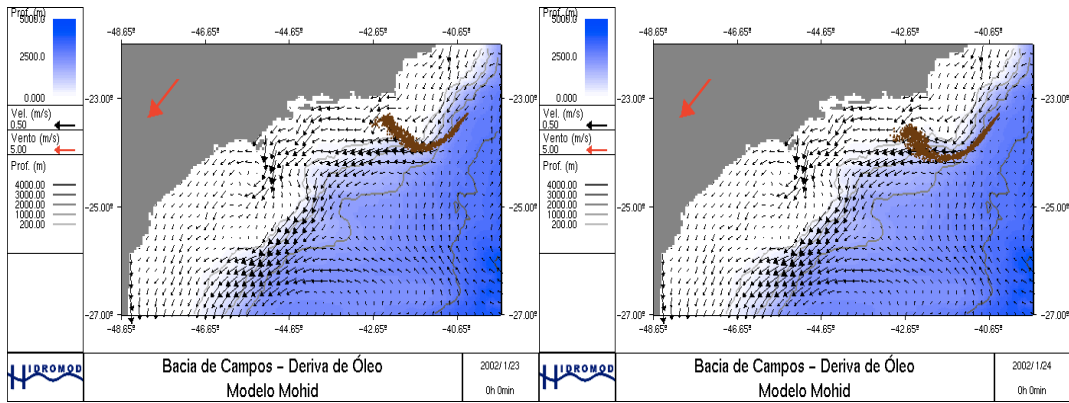
En la diapositiva número 7, el viento toma dirección suroeste, en estos momentos el vertido adquiere una ligera tendencia de caída hacia el sur, dejándose llevar a su vez por la corriente y tomando cada vez más volumen a lo largo de la superficie.

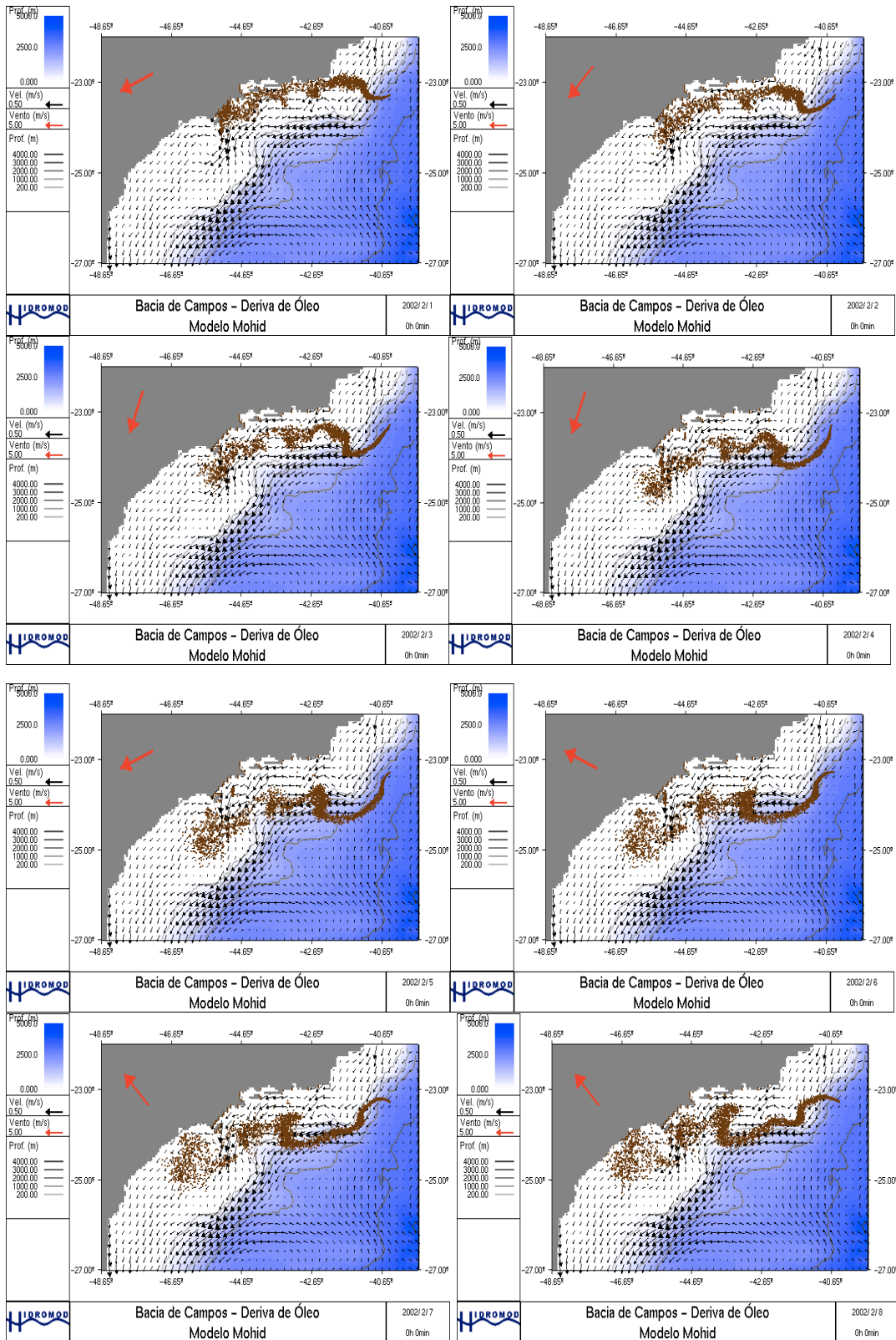
En la diapositiva numero 12 el viento retoma su antigua dirección llegando incluso a tomar dirección norte, vemos con claridad cómo la mancha se va moviendo poco a poco hacia el norte impactando sobre la Bahía de Campos, expandiéndose a lo largo de la costa norte de Macaé y bañando a su paso la parte norte de la Bahía.

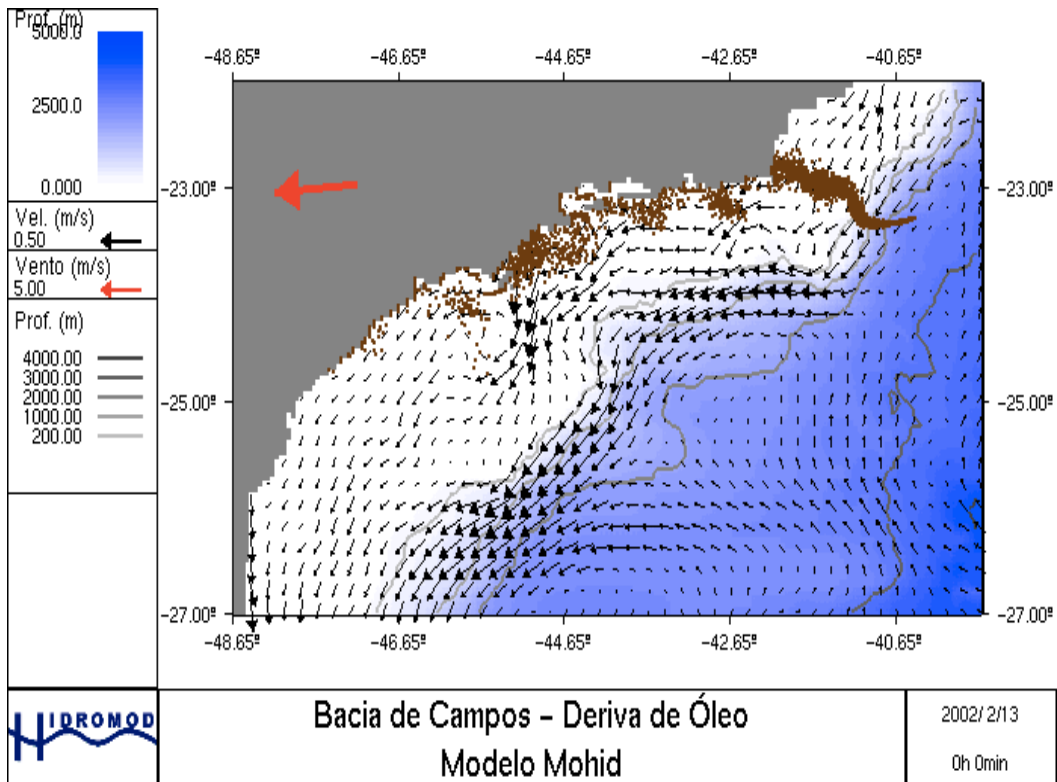
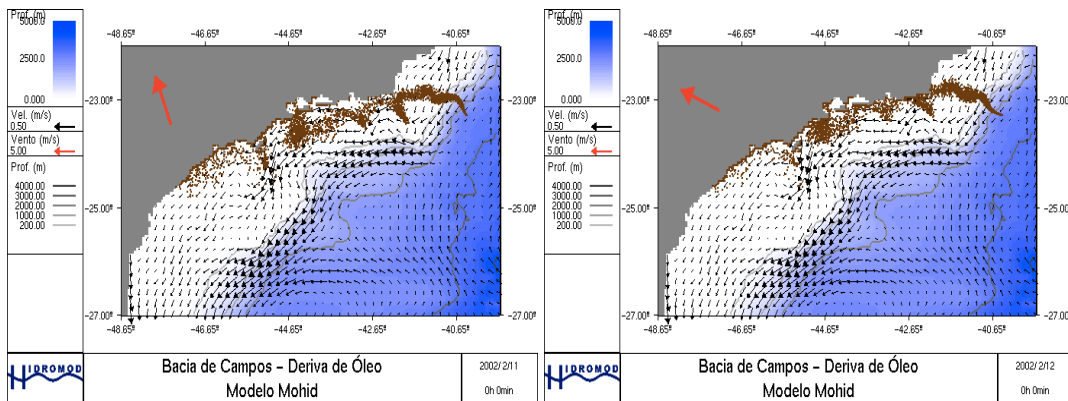
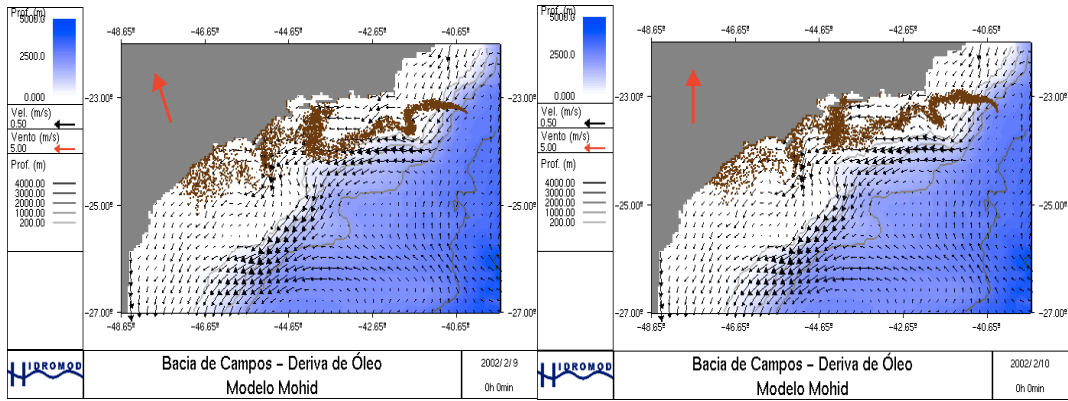
A partir de la diapositiva numero 19 podemos observar cómo se ha quedado el crudo impregnado en la costa con la que ha entrado en contacto, el resto de vertido que sigue flotando en la superficie oceánica continúa hacia el suroeste guiado por la corriente y el viento.

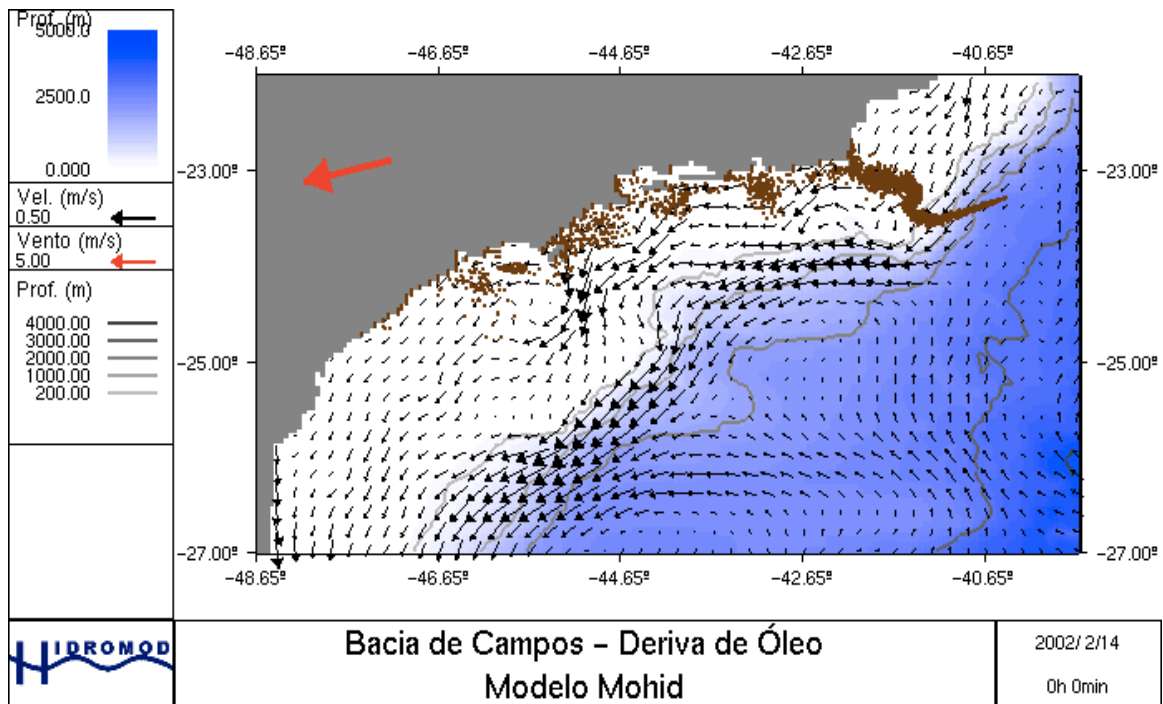
Viendo en las diapositivas posteriores cómo vuelve a repetirse una escena similar en la que el viento vuelve a cambiar y la mancha, cada vez más voluminosa, impacta de nuevo en las costas de la parte sur de la Bahía de Campos, en este caso impregnado la parte sur de Macaé.











En esta última animación nos podemos hacer una idea del impacto que tuvo el vertido para las costas Brasileñas. Aves, peces, delfines, pescadores y demás industrias se vieron afectadas directa o indirectamente por este desastre ambiental con un impacto final mucho mayor al que se preveía en sus inicios. La causa del derrame pudo ser debida a la perforación de 500 metros más de lo debido, en cambio según la empresa responsable Chevron; “el problema pudo ocasionarse cuando estabilizaba el pozo en exploración, y que el crudo se filtró por una falla geológica”. El vertido llegó a abarcar una gran extensión de costas que tardaron varios años en recuperar su situación previa.

CONCLUSIONES

Con el paso de los años hemos sido testigos tanto del creciente desarrollo como del impactante cambio que la sociedad, la tecnología e industria y el comercio ha vivido estos últimos años, las ventajas y desventajas que esto conlleva. El transporte marítimo, en consecuencia, también ha sufrido una fuerte evolución estas últimas décadas, evolución orientada a una mayor efectividad y beneficios, logrando, capacidades masivas de transporte y velocidades inimaginables para abastecer a una sociedad que gira en torno a la producción y el consumismo, surgiendo como consecuencia la explotación de los recursos naturales y muchas de las catástrofes que hemos presenciado.

Actualmente disponemos de fuertes convenios que tratan de evitar posibles situaciones que acaben en catástrofes mediante medidas preventivas y de seguridad que se hacen cada vez más rígidas, y gracias a las cuales se han solventado miles de emergencias a bordo con un equipo de respuesta eficaz y bien formado. Por otro lado, como hemos visto a lo largo del proyecto, contamos también con sistemas para reducir los impactos que estas situaciones pudieran ocasionar. Evidentemente, es mucho más importante la prevención pero una vez el problema no tenga vuelta atrás es importante una rápida y correcta actuación, conocimiento del sitio, del medio, condiciones climáticas y medioambientales, etc.

A la hora de la realización del proyecto la información ha sido recopilada de manera muy dispersa, ha sido un proceso gratificante en el que he podido completar y profundizar los conocimientos implantados a lo largo de la formación previa referente a la contaminación, los planes de contingencia a bordo y los sistemas de modelación, así como los conocimientos adquiridos en los meses de prácticas realizados a bordo de los buques SPABUNKER 61 de la Naviera Buluda Tankers S.A, BOUZAS de Grupo Suardiaz S.L. y Ángeles Alvariño del Instituto Español de Oceanografía. Además he llegado a ampliar las perspectivas con la que contaba, descubriendo que en el mar somos los únicos responsables tanto de nuestras acciones y actos como de las situaciones que se puedan dar por factores externos, teniendo la llave para poder dar con la solución o con, por el contrario, con el origen de situaciones que en muchos casos tenían simples resoluciones.

BIBLIOGRAFÍA DE CONTENIDO

1. CONVENIO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL DERECHO DEL MAR. CONVEMAR
<http://www.un.org/es/index.html>
2. CETMAR
<http://www.cetmar.org/documentacion/comportamiento.htm>
3. AGROINCONSU
<http://agroinconsu-eventos.webs.com/documents/Tema%20III.pdf>
4. PORTAL DE LOS SIETE MARES. MAR DE CHILE
http://www.mardechile.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=370:caplo-115-hidrocarburos-del-petr&catid=47:libro-qlos-ocosq&Itemid=66
5. CONVENIO MARPOL 73/78. OMI. ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, 2012.
6. MANUAL DEL PLAN DE CONTINGENCIAS POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS. BUQUES NO PETROLEROS. BUQUE OCEANOGRÁFICO ÁNGELES ALVARIÑO
7. REVISTA MARINA CIVIL. DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE. CANARIAS, DESIGNADA COMO ZONA MARINA ESPECIALMENTE SENSIBLE
8. ITOPF
http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP16_SPContingencyPlanningforMarineOilSpills.pdf
9. NATIONAL GEOGRAPHIC
<http://www.nationalgeographic.es/el-oceano/cuestiones-criticas-sobre-el-problemas-de-la-contaminacion-marina/cuestiones-criticas-sobre-el-problemas-de-la-contaminacion-marina>
10. CAPITAL SOCIAL. URGENTE24.
<http://www.urgente24.com/17340-grave-chevron-desinformo-sobre-el-derrame-en-bahia-de-campos>
11. OFFSHORE TECHNOLOGY
<http://www.offshore-technology.com/projects/guaraoilfield/>
12. BLOG BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA. LA CONTAMINACIÓN DEL MAR

http://biologiaygeologia.org/unidadbio/a_ctma/hidrosfera/contaminamar.html

13. WIKIPEDIA. METODO DE LOS VOLUMENES FINITOS

https://es.wikipedia.org/wiki/Método_de_los_elementos_finitos

14. VOLUMENES FINITOS

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4036/fichero/Cap%EDtulo+2%252FCapitulo+2.pdf>

15. MÉTODOS FINITOS

http://www.grupo-epm.com/Portals/1/biblioteca_epm_virtual/tesis/metodos_finitos.pdf

16. PÁGINA OFICIAL MOHID

<http://www.mohid.com>

17. MOHIDWIKI

http://wiki.mohid.com/wiki/index.php?title=Main_Page

18. MARETEC.SISTEMA MOHID

<http://www.maretec.org/#!/mohid-model>

19. PORTAL WEB VEO VERDE.

<https://www.veoverde.com/2011/11/derrame-de-petroleo-en-brasil-provocaria-un-desastre-ambiental-mucho-mayor-a-lo-previsto/>

20. WATER QUALITY MANUAL. LISBOA, SEPTIEMBRE 2006. INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO DE LISBOA

21. ESTUDIO INICIAL DEL MODELO MOHID. REPORTE TÉCNICO RT 09-10

22. EXPLORADORES. SOCIEDAD NACIONAL DE MINERÍA, PETRÓLEO Y ENERGÍA

<http://www.exploradores.org.pe/hidrocarburos/hidrocarburos-y-ambiente.html>

23. ECOMANAGE: INTEGRATED ECOLOGICAL COASTAL ZONE MANAGEMENT SYSTEMS

http://www.ecomanage.iado-conicet.gob.ar/quienes_somos.htm

24. IH CANTABRIA. COSTAS Y DERRAMES DE HIDROCARBUROS

<http://www.ihcantabria.com/es/servicios/costas/item/173-derrames-de-hidrocarburos>

25. CETMAR. EVOLUCIÓN Y COMPORTAMIENTO DE LAS MANCHAS DE PETRÓLEO

<http://www.cetmar.org/documentacion/comportamiento.htm>