

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA FORENSE PARA LA DETERMINACIÓN DEL ORIGEN DE UNA CONTAMINACIÓN MARINA PRESUNTAMENTE DESCONOCIDA

Correa Ruiz, F. J¹, Madariaga Domínguez, E¹

¹Escuela Técnica Superior de Náutica, Universidad de Cantabria, Gamazo, 1. 39003 Santander, España

¹e-mail: francisco-correa@unican.es

RESUMEN

En el presente estudio, deseamos aportar nuestra propia experiencia y una metodología científica forense que pueda ayudar a establecer de manera inequívoca y fehaciente el o los responsables de una contaminación marina. Parece evidente que para determinar el origen de un vertido de hidrocarburos en el medio marino con la finalidad de adoptar las medidas adecuadas, tanto en la futura prevención de situaciones similares, como en la acción punitiva para evitar la posible acción dolosa y/o reiterada, a priori, parecería suficiente con la toma de muestras de las aguas contaminadas y del presunto contaminante. De hecho, existen normas nacionales, en el caso de España, como internacionales, tanto para la toma de muestras, del medio marino como de los potenciales contaminantes, como su posterior análisis y comparación.

Muchos de los casos de contaminación marina producida por hidrocarburos, sobre todo en los puertos, confunden el tipo de hidrocarburo que ha contaminado por tener una contaminación constante de sus aguas y no conocer la calidad “real” de sus aguas. La situación se complica cuando son varias las manchas oleosas que pueden aparecer simultáneamente en diferentes zonas próximas dentro de un área costera y/o portuaria, existiendo decenas, incluso centenares, de potenciales efluentes, tanto terrestres como marinos. Se hace necesario el tener una cultura de seguridad marítima, enfocada a la contaminación marina.

Palabras claves: Metodología científica forense, Contaminación Marina, Hidrocarburos, MARPOL.

1- INTRODUCCIÓN

El concepto de contaminación en el medio marino en las últimas décadas, se confunde o enmascara con otras características que en ocasiones son naturales. La Real Academia de la Lengua Española define contaminación marina [1], como: *“introducción directa o indirecta en el medio marino de sustancias o energías como consecuencia de la actividad humana, incluidas las fuentes sonoras submarinas, que provocan o pueden provocar efectos nocivos, como perjuicios a los recursos vivos y a los ecosistemas marinos —incluida la pérdida de biodiversidad—, riesgos para la salud humana, obstáculos a las actividades marítimas, especialmente a la pesca, al turismo, a las actividades de ocio y demás usos permitidos del mar, así como alteraciones de la calidad de las aguas marinas que limitan su utilización y una reducción de su valor recreativo, o en términos generales un menoscabo del uso sostenible de los bienes y servicios marinos, incluidos sus recursos”*.

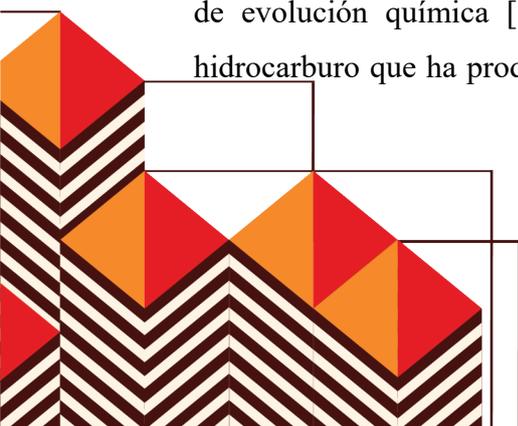
Con esta definición, a su vez, es necesario tener una cultura de seguridad marítima, enfocada a la contaminación marina [2]. Se hace necesario ante un caso de contaminación marina por hidrocarburos, el contrastar cual es la situación previa a la contaminación marina y cual es la situación tras el foco contaminante, para tener una “perspectiva real”. De esta manera, la finalidad de los trabajos realizados sobre el terreno será determinar la situación ambiental que tiene la zona afectada “antes de la contaminación”, sea una zona portuaria, sea un puerto o una zona litoral. Así, al realizar un examen de la zona, tanto sobre el terreno como sobre planos e imágenes, incluso ortofotos [3], nos permitirá obtener información general, básica y actualizada sobre la zona perturbada. Así mismo hay que realizar un listado a priori de los equipos disponibles [4], con fines ambientales, que servirá para conocer qué aspectos están bajo control, en cuáles hay carencias y cuáles están completamente desatendidos [5]. Es imprescindible tomar una muestra de referencia “cero” de la calidad de las aguas y de los terrenos y conocer las características del foco de contaminación. Esta muestra de referencia, servirá para contrastar las muestras que se tomen del foco o focos contaminates. Hay puertos y zonas de este, como son las instalaciones portuarias

comerciales, pesqueras y deportivas que se encuentran permanentemente contaminadas y la referencia “cero” está contaminada de hidrocarburos, con lo que la entrada de otro hidrocarburo por inmisión, poco ayuda a determinar la dilución que se haya producido en el medio marino [6] y quien y cómo ha podido originarla.

Por otra parte, las conversaciones que mantengamos con los usuarios de dichas zonas, nos permitirán obtener una imagen más real del control ambiental existente en general y de la funcionalidad de los equipos disponibles en particular, así como detectar necesidades, fuesen éstas reales o sentidas [7]. Las respuestas a cuestionarios específicos obtenidas de responsables o representantes de los puertos y de las zonas afectadas, nos podrán mostrar que los cuestionarios pueden ser una herramienta muy eficaz para completar la información sobre la situación ambiental. Estos trabajos se deberán de complementar con la recogida de información relativa al entorno ambiental de la zona afectada, bien sea portuaria o zona litoral. Esta labor, se realiza fundamentalmente mediante búsqueda bibliográfica especializada [8], [9], pero también, como se ha indicado con anterioridad, mediante entrevistas o consultas a especialistas en temas ambientales [10]. Así, se conseguirá completar la caracterización de los puertos o zona afectada objeto a estudio por contaminación marina, especialmente desde un punto de vista ambiental, pudiendose establecer las bases tanto para establecer un diagnóstico de las principales carencias ambientales del conjunto y de cada uno de ellos, como para desarrollar unos planes de equipamiento ambiental básico y de gestión ambiental suficientes. Es decir, se podrán establecer qué actuaciones serían necesarias para llegar a un modelo de gestión sostenible de la zona afectada, a la vez ambientalmente responsable y económicamente viable [4], [5].

2- DETERMINACIÓN DEL TIPO DE HIDROCARBURO

Los hidrocarburos una vez que entran en el medio marino sufren varios procesos tanto físicos como de evolución química [11]. Es sumamente importante, discriminar cual ha sido el tipo de hidrocarburo que ha producido la contaminación en el medio marino [9], [10]. Normalmente, se



cree, de manera arbitraria, que el petróleo crudo es una sustancia única y homogénea, sin diferenciación alguna. Pero realmente, existen más de 170 tipos, completamente diferenciados de crudos comercializados. En su estado natural, sin refinar, el petróleo crudo varía en densidad y consistencia, desde muy delgado, liviano, volátil y fluido, como el conocido Brent, hasta los petróleos extremadamente espesos, semisólido y pesados, como los crudos caribeños o los betunes extraídos de arenas bituminosas. También hay una tremenda gradación en el color que exhibe el petróleo extraído, que va desde un amarillo dorado claro hasta el negro más oscuro y profundo que se pueda imaginar [7]. Con el fin de tener un "vocabulario" conjunto y acordado, la industria del petróleo a menudo utiliza referencias a "ubicaciones geográficas" para clasificar descriptivamente los crudos, tal como se indica en la Tabla 1. Esto se debe al hecho de que el petróleo de diferentes ubicaciones geográficas naturalmente tendrá sus propiedades únicas (un ADN inconfundible). Estos crudos varían drásticamente entre sí en lo que respecta a su viscosidad, volatilidad y toxicidad [13].

Tabla 1: Tipos de crudos según su procedencia y densidad API.

Crudos	º API	Tipo
Muy ligeros	> 37	Mar del Norte
Ligero	33-37	Arabia Ligero
Medio	28-33	Irán Pesado
Pesado	20-28	Maya
Muy pesado	< 20	Bocán

2.1- Conceptualización básica

Es necesario definir una conceptualización básica para evitar falsas definiciones y a su vez no focalizar adecuadamente el origen del vertido [14], [15]. El término "viscosidad", se refiere a la resistencia del petróleo a fluir, a mayor viscosidad menor fluidez. El petróleo crudo de mayor viscosidad es mucho más difícil de bombear desde el subsuelo, transportar y refinar. De igual

manera, los fueles de gran viscosidad son difíciles de bombear y transportar, a no ser que sean calentados, para incrementar su fluidez [16].

El término "volatilidad", describe la rapidez con que el aceite se evapora en el aire. Los crudos y sus derivados que son altamente volátiles necesitan un esfuerzo adicional para garantizar que la regulación de la temperatura y los procedimientos de sellado consigan la menor pérdida de hidrocarburo posible.

El término "toxicidad", se refiere a cuán perjudicial son el petróleo crudo y sus procesos de refinado para la vida local, desde los humanos hasta la flora y fauna, así como para otras entidades y organismos vivos ambientalmente frágiles.

El petróleo crudo necesita ser destilado para obtener diferentes productos y combustibles. El refinado del petróleo se inicia con el proceso de destilación, posteriormente, los compuestos obtenidos, son refinados nuevamente en otras unidades de proceso para modificar su composición molecular o eliminar compuestos no deseados (como es el azufre). Al final del proceso de refinado quedan lo que se denominan "productos residuales" (las cadenas de hidrocarburos más pesadas) un ejemplo, son los betunes que empleamos en la vida diaria para nutrir y lustrar la piel de nuestros zapatos.

Los cuatro tipos principales de petróleo y sus derivados son:

- (1) Crudos muy ligeros: combustible de aviación; gasolina; queroseno; nafta ligera y pesada; éter, alcohol y nafta de petróleo. Estos derivados del petróleo tienden a ser muy volátiles y pueden evaporarse en solo un par de días.
- (2) Crudos ligeros: la mayoría de los combustibles de grado 1 y 2 y los aceites combustibles diésel, así como la mayoría de los combustibles domésticos y el gasoil marino.
- (3) Crudos medianos: este tipo de hidrocarburo constituye la mayor parte del transporte marítimo. La baja volatilidad que posee hace que las limpiezas ante derrames, sean más complejas y complicadas.



(4) Fuelóleos pesados (incluyen los crudos pesados): los combustibles de grado 3, 4, 5 y 6, así como los combustibles marinos intermedios y pesados, con viscosidades superiores a 180 centistokes. Con estos hidrocarburos la evaporación es muy lenta, escasa y por tanto, la toxicidad aumenta.

En el sector marítimo, se emplean tanto productos destilados como residuales [17]. Los combustibles destilados, son poco viscosos, mientras que los combustibles residuales, son viscosos o muy viscosos (necesitan temperatura para inyectarse en los motores marinos). Las embarcaciones de recreo, al igual que los vehículos (turismos de automoción), utilizan combustibles destilados como la gasolina o el diésel (gasoil), de idénticas características e impuestos. Por lo general, llevan motorizaciones principales, compuestas de uno a cuatro motores. La independencia y la simplicidad de sus elementos propulsores justifica el empleo de estos combustibles destilados que tienen una carga del 0,1% de azufre, según normativa desde enero de 2008 y que cumplen la norma ISO 8217.

Las embarcaciones de pesca profesional, llevan a bordo un servicio de propulsión principal y en ocasiones algún motor a modo de motor auxiliar (para generar energía eléctrica). En este tipo de embarcaciones, se emplea un diésel marino, que es de peor calidad que el de automoción, además va aditivado con un color “verde” y bonificado, de hecho, se denominan gasóleos “C” (caso de España). Este diésel para la industria pesquera, MGO (Marine Gas Oil) sólo contiene un 0,1% de azufre. Le sigue en orden de peor calidad para las motorizaciones el que se denomina MDO (Marine Diesel Oil) el cual contienen hasta un 0,5% de azufre.

Los buques mercantes y algunos buques de pesca “de última generación” están dotados de una planta de propulsión en la que los motores principales y las bombas de inyección (y los sistemas de suministro de combustible) están preparados para quemar combustibles de los denominados “residuales”. Estos combustibles, a temperatura ambiente son “sólidos” (como los betunes), por lo que necesitan disponer de tanques calefactados para trabajar con ellos.



El combustible residual, son la denominación que tienen los combustibles (viscosos) que quedan después de extraer del petróleo la gasolina, gasóleo, propano, butano, nafta, aceites lubricantes, que son los productos “más volátiles”. Son combustibles oscuros, casi de color negro, pastosos, con un olor desagradable (difíciles de limpiar). A estos combustibles “residuales”, puros o casi puros, se les aglutina y denomina como Marine Fuel Oil (MFO). Los Intermediate Fuel Oil (IFO) se obtienen mezclando fuel residual con combustibles destilados (gasóleo o diésel) de manera que, según la viscosidad deseada, añadiremos al fuel más o menos producto destilado (gasóleo o diésel). De esta forma, se obtienen IFO30, IFO40, IFO60, IFO80, IFO100, IFO120, IFO150, IFO240, IFO280 y IFO320. Un dato importantísimo, es conocer en la zona del vertido, que tipo de combustible se puede adquirir, para descartar o enfocar el lugar del vertido.

Cada tipo de petróleo, dependiendo de su procedencia, va a tener una composición diferente. Además del crudo, la composición del hidrocarburo la determinará el proceso de destilado y los aditivos y mezclas que conformarán sus características como combustible [17]–[19]. Es muy común, ante un foco contaminante, que se hable (por autoridades marítimas y medios de comunicación) de combustibles tipo IFO, influenciados por la apariencia oscura y olor a gasóleo por la falta de conocimiento de las características y tipos de combustibles “mixtos” existentes, tal como se han resellado anteriormente.

2.2- Combustibles marinos, según la norma ISO 8217

Las especificaciones que definen los parámetros mínimos de calidad requeridos a los combustibles marinos dieron comienzo en 1982, cuando las refinerías introducen el cracking de precisión y se llegan por consenso entre suministradores, consumidores y fabricantes de motores, a la necesidad de establecer un estándar de calidad en los combustibles extraídos. El organismo que establece los parámetros mínimos tanto de los combustibles destilados, como de los residuales es la International Organization for Standardization (ISO), con sede en Ginebra.

La norma ISO, que regula los combustibles es la ISO 8217, en la cual, al referirse a los combustibles, tiene en cuenta lo siguiente:

La primera letra del nombre del producto, indica el tipo de combustible, así tenemos:

- D es para el combustible destilado.
- R es para el combustible residual.

La segunda letra indica la aplicación, de esta manera, tenemos:

- M es para Marina, para el sector marítimo.

La tercera letra, X, A, B, C, E, F, etc. indica propiedades particulares del combustible. Para los combustibles marinos residuales, el número después del nombre del producto indica la viscosidad máxima a 50°C y medida en (mm²/sg), es decir, centistokes

Los cuatro tipos de combustibles marinos, más usados en el sector del transporte marítimo son, Marine Gasoil (MGO), Marine Diesel Oil (MDO) y los fueles intermedios residuales IFO180 e IFO380. Estos se corresponden con los siguientes grados ISO 8217, que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Los cuatro combustibles marinos más utilizados.

Denominación Comercial	Denominación ISO 8217
MGO	DMA
MDO	DMB o DMC
IFO180	RME180 o RMF180
IFO380	RMG380, RMH380 o RMK380

Los parámetros más importantes regulados por la norma ISO 8217 son:

- La densidad, que ha de ser inferior a la del agua dulce. Se fijó en 0.991 (g/l) máximo.
- La viscosidad, es el parámetro que fija el valor del IFO. Se establece para una temperatura de 50° Celsius.



- El punto de inflamación, fija un valor de seguridad de almacenaje en los tanques. Ha de ser superior a 60° Celsius. Es la temperatura a la que el combustible líquido emana suficientes vapores que, mezclados con aire, se inflaman al aplicar una fuente de calor.
- El punto de congelación, fija el valor mínimo de manipulación.
- El residuo carbonoso, es el valor que previene la obturación de inyectores y el deterioro del lubricante.
- Las cenizas, es el valor que previene su depósito en la cabeza del cilindro de los motores.
- El agua, es el valor que previene que en altas temperaturas forme con otros elementos, ácidos corrosivos.
- El azufre, es el valor que previene la corrosión del pistón y contaminación atmosférica.
- El vanadio, es el valor que previene la formación de elementos gomosos.
- El sedimento potencial, es el valor que previene la obturación de filtros e inyectores.
- Aluminio más sílice, es el valor que previene el deterioro de los aros de los cilindros de las motorizaciones.
- Sulfhídrico, es uno de los gases, altamente venenosos e inodoro extremadamente peligroso para la vida humana, que se producen en la combustión de los combustibles. El 10 de octubre de 2008, la Organización Marítima Internacional (OMI) firmó una modificación al Anexo VI del convenio MARPOL 73/78, por la que estableció una reducción progresiva de las emisiones de óxidos de azufre (SOx) procedentes de los buques, la cual está en vigor desde el 1 de enero de 2020.

2.3- Generación de residuos de hidrocarburos en el medio marino

A bordo de los buques y embarcaciones, se generan tres categorías de residuos oleosos (hidrocarburos), los cuales son:

- Las aguas de sentina contaminadas en todos los buques y embarcaciones. La sentina de un barco es un espacio abierto que está en la parte más baja del buque en el que se recogen las aguas que



entran dentro del buque y los residuos que ocasionan los motores y mecanismos. Es obligatorio que todos los buques de más de 400 unidades de arqueo bruto estén equipados con tanques para la recogida de los residuos oleosos (fangos) de un tamaño adecuado al funcionamiento del buque. Por lo general, los tanques de fangos son independientes, si bien también pueden ser de tipo combinado.

- Los fangos, que se producen por el funcionamiento rutinario de los equipos de purificación en todos los buques. Con miras a evitar daños a los componentes de la maquinaria de propulsión, retrasar el desgaste y mejorar la combustión, el combustible se purifica por medio de centrifugadoras (de dos o tres fases) antes de pasar a los motores. Los equipos de purificación del combustible suelen ser autolimpiantes y funcionan en permanencia para eliminar los contaminantes tanto sólidos como líquidos (una de las fases que se elimina de los combustibles es el agua).

- Los residuos de la carga de hidrocarburos en los petroleros o los ocasionados por la toma de combustible en buques y embarcaciones. Los requisitos del MARPOL73/78 relativos a la descarga de los residuos de la carga de hidrocarburos a la mar se detallan en la Parte C, del Capítulo 4, del Anexo 1 del MARPOL.

La mayor carga contaminante por hidrocarburos procede de la presión municipal e industrial hacia el medio marino, siendo las operaciones marítimas y los accidentes un porcentaje bajo (tal como se ha mostrado en la Tabla 3), siendo una asignatura pendiente de legislar y de afrontar técnicamente.

3- ESTUDIO DE LA ZONA DEL VERTIDO

Para comprender el comportamiento que experimentará un derrame de hidrocarburo en el medio marino, es indispensable realizar un estudio al detalle de la zona donde se ha producido, en el que se tengan en cuenta:

- Comportamiento ambiental, temperatura ambiental, humedad atmosférica (total y relativa), temperatura del agua de mar, tomar una muestra de agua de mar como “muestra de referencia cero” para que pueda ser comparada con muestras de la zona de vertido.



- Estudio de las corrientes litorales, locales y de marea, manejando datos oceanográficos y hidrográficos-
- Geografía de la zona, con ortofotos, planos, etc. Para determinar las zonas de influencia y afección [3].

Tabla 3: Fuentes de hidrocarburos vertidos al medio marino.

Vertidos de hidrocarburos	Porcentaje
Instalaciones fijas	8%
Fenómenos atmosféricos	12%
Municipales e industriales	45%
Naturales	11%
Accidentes marítimos	5%
Operaciones marítimas	19%

Cada año entran en el medio marino 1.47 millones de toneladas métricas como resultado de pérdidas en el transporte marítimo, labores de pesca y practicas de ocio náutico deportivo. Como residuos de la carga 0,7 millones de toneladas, son debidas a residuos de la caga que permanecen abordo después de la descarga. La cantidad de dichos residuos depende del contenido de impurezas de la carga anterior y de la viscosidad de la misma, pero típicamente representa aproximadamente un 0,4% de la capacidad de carga, por ejemplo, 800 toneladas en un petrolero de 200.000 toneladas de peso muerto (TPM).

Durante las operaciones de limpieza de tanques y deslastre, gran parte de esta cantidad puede ser vertida al mar. Los buques de lastre segregado y los sistemas de lavado con crudo, junto con el establecimiento de los procedimientos de "cargar encima" han reducido la contaminación debida a la operación de petroleros. Incluidas en las pérdidas del transporte están las descargas del agua de sentinas que contiene productos oleosos y los residuos de fuel oil, que suman 300.000 toneladas al año, generadas por todo tipo de buques. Aunque la cantidad de residuos oleosos vertidos al mar

por los buques puede ser controlada por medio de una gestión apropiada, tiene también gran importancia la provisión de instalaciones adecuadas para la recepción de slops, lastre sucio y residuos oleosos de los espacios de máquinas en tierra.

Los hidrocarburos derramados en el medio marino, sufren una serie de procesos que modifican sus características y su comportamiento. Estos procesos son, entre otros, la propagación (con gran influencia del efecto Coriolis), la deriva (por las corrientes), la evaporación, la disolución, la dispersión, la emulsificación (mezcla con el agua), la sedimentación, la biodegradación y fotooxidación. El conocimiento de esos procesos y la forma en que interactúan los diferentes hidrocarburos es muy valioso en la lucha contra los derrames. Un derrame de hidrocarburos en el medio marino, está afectado por procesos de envejecimiento. Cuando se incrementa el área del vertido, aumenta la tasa de evaporación, pero la velocidad y extensión de la evaporación varían considerablemente dependiendo de la composición propia del hidrocarburo.

Los hidrocarburos de poca densidad, como son la gasolina o el gasoil, se evaporan con gran rapidez (entre una y dos terceras partes en pocas horas, tras su vertido), mientras que los hidrocarburos pesados, se disipan lentamente. El proceso de evaporación estará afectado por la velocidad del viento y la temperatura (tanto del agua como de la atmósfera) cuanto más altas sean ambas, más rápida será la evaporación, el hidrocarburo evaporado es descompuesto por el proceso de fotooxidación.

El proceso de emulsificación, incorpora agua al hidrocarburo, cambiando las propiedades y la cantidad presente en la superficie de la mar. El contenido de agua de tales emulsiones puede alcanzar del 80% al 90%. Estas emulsiones se denominan "mousse".

En la Tabla 3, se han mostrado las principales fuentes de vertido de hidrocarburos al mar junto con el porcentaje vertido por cada una de las actividades. Hay que destacar, tal como se expone en letra de color rojo, que la mayor carga de vertido de hidrocarburos se produce por actividades municipales e industriales, siendo un porcentaje relativamente reducido el ocasionado a accidentes marítimos, pero que es considerable en las operaciones de suministro. Esta es una asignatura



pendiente en los puertos pesqueros, en los deportivos y en aquellos grandes puertos que hacen actividades de bunkering [9], [20], [21].

La modelización de los focos de contaminación marina [22]–[24], mediante aplicaciones de software, tales como WOSM, OILMAP, GNOME, ADIOS, etc., son de utilizad cuando la zona de vertido es litoral. Las aplicaciones informáticas [25]–[27], han de nutrirse de gran cantidad de datos físicos que son alcanzables en zonas litorales, pero que conllevan gran conocimiento e inversiones millonarias para conocer el comportamiento en puertos y zonas interiores de estos. Estos programas informáticos, sirven de ayuda para la toma de decisiones, pero ante un foco real de contaminación han de tenerse en cuenta como meros “asesores” para conocer las posibilidades de evolución de la contaminación, no sirven de prueba forense como si fueran una grabación óptica real de lo que ha sucedido, puesto que no son una representación al 100% de la realidad sino una tenue luz en un túnel a oscuras. Son meras hipótesis, que en zonas interiores de puertos evolucionan por encima de los muelles, de las localidades, representando una mentira para justificar un hecho sucedido sin encontrar o investigar las causas reales que lo han determinado.

3.1- Toma de muestras en la zona afectada por el vertido de hidrocarburos

La toma de muestras para la identificación de derrames de hidrocarburos viene regulada por la norma española CEN/TR 15522-1:2006. De igual manera, el análisis de estas muestras viene reglado por la norma CEN/TR 15522-2:2006. Para la realización de los análisis se han de realizar por un laboratorio acreditado, en el caso de España, por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) como organismo nacional de acreditación de acuerdo con lo establecido en el Reglamento (CE) nº 765/2008 del Parlamento Europeo y el Consejo, de 9 de julio de 2008, por el que se establecen los requisitos de acreditación y vigilancia del mercado relativos a la comercialización de los productos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) nº 339/93. La acreditación, es la herramienta establecida a escala internacional para generar confianza sobre la correcta ejecución



de un determinado tipo de actividades denominadas “Actividades de Evaluación de la Conformidad” y que incluyen ensayo, calibración, inspección, certificación o verificación entre otras. En general, cualquier actividad que tenga por objeto evaluar si un producto, servicio, sistema, instalación, etc. es conforme con ciertos requisitos puede estar sujeta a acreditación. Dichos requisitos pueden estar establecidos por ley y tener por tanto carácter reglamentario o estar especificados en normas, especificaciones u otros documentos de carácter voluntario.

Estas circunstancias, dotan a las muestras que se extraigan y que sigan una correcta cadena de custodia a condiciones físicas de laboratorio y que sean entregadas con la mayor premura para su análisis unas condiciones importantes de cara al establecimiento de responsabilidades, una vez que la analítica determine la vinculación con el propietario del hidrocarburo [21]. Para garantizar la cadena de custodia, en el Anexo B de la norma española CEN/TR 15522-1:2006 encontramos un modelo de acta para el transporte y recepción de las muestras. Este documento debe estar cumplimentado y firmado por el que toma la muestra, por el que o los que transportan la muestra y por quién recibe la muestra.

Por consiguiente, la asignatura pendiente de los diferentes países marítimos [21], [28], [29] es, crear una legislación clara y eficaz para evitar los casos de contaminación marina por hidrocarburos [30] en la que se tipifiquen de forma clara como se han de establecer las pruebas para determinar la culpabilidad y las responsabilidades de los causantes bien sean por negligencia, intencionados o por accidentes[21], [29], [31].

5- CONCLUSIONES

El medio ambiente en cualquiera de los puertos o zonas litorales afectadas por un foco de contaminación marina por hidrocarburos es único, es complejo, es dinámico, es abierto y extradimensional con respecto al ser humano. La evaluación concreta de cada puerto o de cada zona afectada por contaminación marina, debe ser diferenciada y/o particularizada en cada caso.



No se pueden transpolar unos casos a otros, ya que las condiciones morfológicas, mareales, batimétricas, geológicas, etc., varían, así como lo hacen las características químicas del hidrocarburo implicado en el vertido contaminante.

El análisis de las actuaciones concretas desarrolladas en las zonas portuarias o litorales afectadas por un episodio de contaminación marina, revelan numerosos aspectos o problemas ambientales, algunos de alcance significativo, que no han sido tomados en consideración o no han sido abordados previamente, así como abundantes deficiencias operativas, entre ellas las derivadas de la carencia de planes de formación para trabajadores y de información para los usuarios. Todo esto ocasiona episodios de contaminaciones accidentales e involuntarias por falta de formación-información, pero que son episodios de contaminación marina real.

La modelización de los focos de contaminación marina por hidrocarburos mediante aplicaciones de software, son de utilidad cuando la zona de vertido es litoral, en zonas interiores no son ni útiles ni ciertas las simulaciones. Las aplicaciones informáticas sirven de ayuda para la toma de decisiones, pero ante un foco real de contaminación, han de tenerse en cuenta como meros “asesores” para conocer las posibilidades de evolución de la contaminación y no sirven de prueba forense ya que no son una reproducción real de lo sucedido.

La gestión ambiental de los puertos (pesqueros, deportivos, comerciales) debe basarse en unos principios conceptuales, claros, sencillos y bien definidos, capaces de orientar el juicio y conducir las acciones. Tales principios, comunes para el conjunto de los puertos y zonas litorales, resultan imprescindibles para la implementación de una política legislativa para luchar contra la contaminación marina por parte de los países marítimos. Hasta el momento, todas las acciones se toman tras accidentes y episodios de contaminación marina, lo que contrasta con la concienciación y la cultura de la seguridad marítima.

6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Real Academia Española de la Lengua, *Definición de contaminación marina*. 2022.
- [2] Håvold, J. I. "Culture in maritime safety," *Marit. Policy Manag.*, vol. 27, no. 1, pp. 79–88, 2010.
- [3] Cheng, Y.; Li, X.; Xu, Q.; Garcia-Pineda, O.; Andersen, O. B.; y W. G. Pichel, "SAR observation and model tracking of an oil spill event in coastal waters," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 62, no. 2, pp. 350–363, 2011.
- [4] Madariaga, E. *Control ambiental de los puertos pesqueros y deportivos de Cantabria. Metodología para el diseño de instalaciones portuarias receptoras de residuos*. Berlín, 2012.
- [5] Madariaga, E. "Modelo de gestión de los residuos procedentes de embarcaciones en los puertos pesqueros y deportivos de Cantabria: propuestas de control ambiental," Universidad de Cantabria, 2010.
- [6] UK Government, *The National Contingency Plan: A Strategic Overview for Responses to Marine Pollution from Shipping and Offshore Installations*, no. National Contingency Plan. 2014, pp. 1–50.
- [7] Acuña, A. R. "El problema del delito culposo de contaminación de aguas por hidrocarburos, especialmente las marinas," 2018.
- [8] University of Plymouth, "Critical Thinking," in *Learning Development*, 2010, pp. 1–8.
- [9] Universidad Pompeu Fabra, "El análisis crítico del discurso y el pensamiento social Teun Van Dijk y Athenea Digital," *Athenea Digit.*, vol. 1, no. Primavera, pp. 1–7, 2002.
- [10] Andrés, M. A.; Madariaga, E.; Delgado, O. y Martínez, J. E. "Marine pollution in the nautical seaports in Croatia by the effluent of tourists," *Eur. Transp. \ Trasp. Eur.*, no. 64 (3), pp. 1–11, 2017.
- [11] Silos-Rodríguez, J. M. *Manual de la lucha contra la contaminación por hidrocarburos*. 2008.
- [12] Rodrigo De Larrucea, J. *Hacia una teoría general de la Seguridad marítima*. 2015.
- [13] Madariaga, E.; Correa, F.; Oria, J. M. y J. Walliser, "Methodology for waste management of nautical ports in Croatia," in *Proceedings ELMAR - International Symposium Electronics in Marine*, 2015, vol. 2015-Novem, pp. 189–192.
- [14] Abelson, P. H. "Marine pollution," *Science*, vol. 171, no. 3966. p. 21, 1971.
- [15] Zhang, B.; Matchinski, E. J.; Chen, B.; Ye, X.; Jing, L. y Lee, K. "Marine oil spills-oil pollution, sources and effects," in *World Seas: An Environmental Evaluation Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts*, 2018, pp. 391–406.
- [16] Caballero, M. J. "Prestige: Protección a Toda Costa," 2003.
- [17] Chen, J; Zhang, W.; Wan, Z.; Li, S.; Huang, T. y Fei, Y. "Oil spills from global tankers: Status review

- and future governance,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 227. pp. 20–32, 2019.
- [18] Silva I.A. *et al.*, “Oil spills: impacts and perspectives of treatment technologies with focus on the use of green surfactants,” *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 194, no. 3. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 01-Mar-2022.
- [19] Beiras, R. *Marine pollution: Sources, fate and effects of pollutants in coastal ecosystems*. 2018.
- [20] Espino, M.; Comerma, M.; Arcilla, E. y González, A. S. “La predicción de la contaminación marina por vertido de hidrocarburos en la ingeniería portuaria.,” *I Congr. Ing. Civil, Territ. y Medio Ambient.*, p. 14.
- [21] Gajate, I. P. “Responsabilidad civil por contaminación marina por hidrocarburos,” Bilbao, 2021.
- [22] University of Plymouth, “Writing Essays Extended,” in *Writing Essays*, 2011, pp. 1–22.
- [23] Hoang, A. T. y Chau, M. Q. “A mini review of using oleophilic skimmers for oil spill recovery,” *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, vol. 41, no. 2. pp. 92–96, 2018.
- [24] Beiras, R. *Marine pollution: Sources, fate and effects of pollutants in coastal ecosystems*. 2018.
- [25] Spaulding, M. L.; Howlett, E.; Anderson, E. y Jayko, K. “Oilmap: A global approach to spill modeling,” in *Proceedings - 15th Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar 1992*, 1992, pp. 15–21.
- [26] Spaulding, M. L.; Kolluru, V. S.; Anderson, E. y Howlett, E. “Application of three-dimensional oil spill model (WOSM/OILMAP) to Hindcast the Braer spill,” *Spill Sci. Technol. Bull.*, vol. 1, no. 1, pp. 23–35, 1994.
- [27] Spaulding, Li, M. Z.; Mendelsohn, D.; Crowley, D.; French-McCay, D. y Bird, A. “Application of an Integrated Blowout Model System, OILMAP DEEP, to the Deepwater Horizon (DWH) Spill,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 120, no. 1–2, pp. 37–50, 2017.
- [28] Seijo, M.; Iglesias, M.; Muñoz, E. y Silva, F. “Estado actual de la gestión de residuos MARPOL y su contribución a la prevención de la contaminación marina,” *Residuos Rev. técnica*, vol. 17, no. 96, pp. 72–81, 2007.
- [29] Silos-Rodríguez, J. M. *Manual de la lucha contra la contaminación por hidrocarburos*. 2008.
- [30] Botello, A. V. “La contaminación marina y la urgencia de su legislación.” *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*(2016).
- [31] Huerta Viesca, M. I. y Rodríguez, D. *Responsabilidad civil por contaminación marina por vertido de hidrocarburos : a propósito del Prestige*. 2004.

