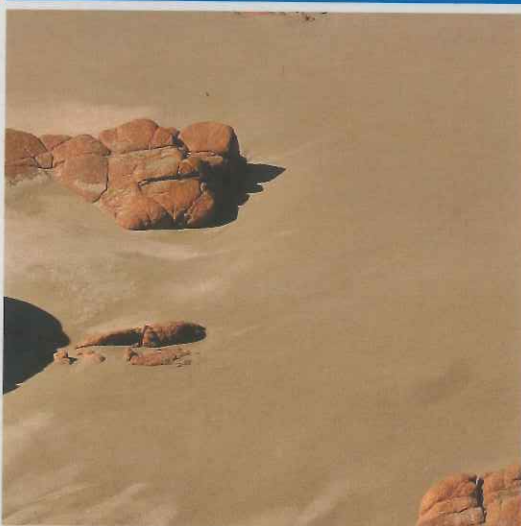
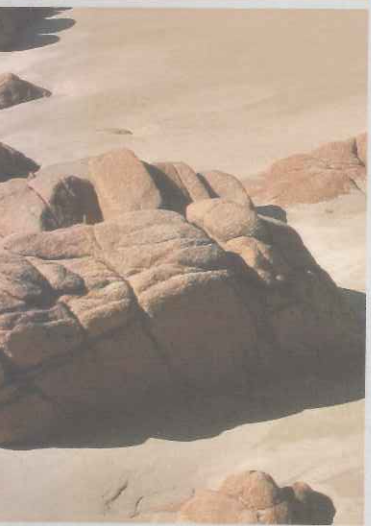




ACTUACIONES
A DESARROLLAR
EN CASO DE UN

vertido de **Hidrocarburos**

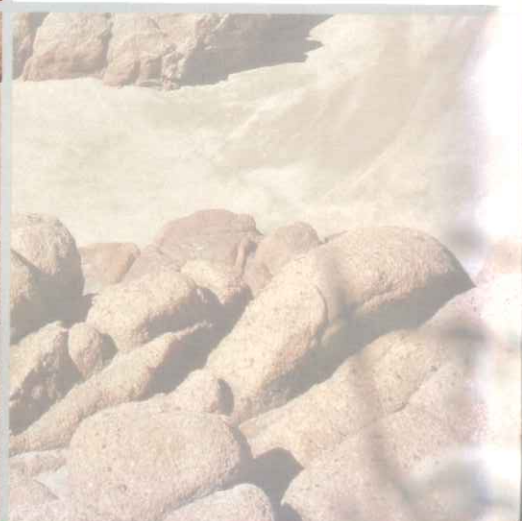
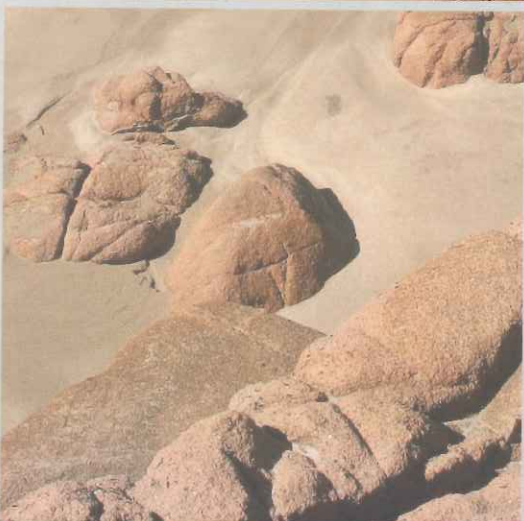
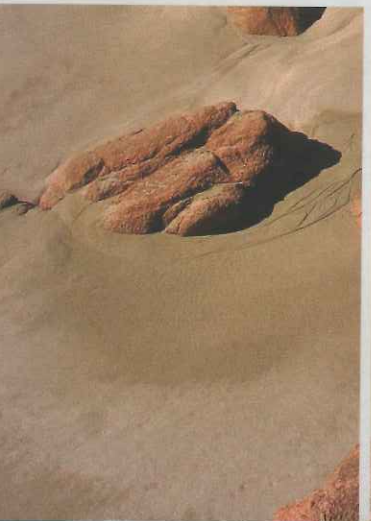


SERIE TÉCNICA



MINISTERIO
DE LA PRESIDENCIA

CENTRO PARA LA PREVENCIÓN
Y LUCHA CONTRA LA
CONTAMINACIÓN MARÍTIMA
Y DEL LITORAL
CEPRECO



SERIE TÉCNICA

CENTRO PARA LA PREVENCIÓN Y LUCHA
CONTRA LA CONTAMINACIÓN MARÍTIMA
Y DEL LITORAL (CEPRECO)

**Actuaciones a desarrollar
en caso de un vertido
de hidrocarburos**

Madrid
MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA
2006

Catálogo general de publicaciones oficiales
<http://publicaciones.administracion.es>

Dirección técnica:

Xoán Nóvoa Rodríguez (CEPRECO)

Coordinación editorial:

Jose Manuel Cornejo Sánchez (TRAGSA)

Coordinación de contenidos:

Emilio Rodríguez Merino (CEPRECO)

Diseño gráfico:

Ana Cañas

Maquetación:

ARTCOMPANY

Apoyo editorial:

Manuel Merino Sánchez (TRAGSA)

Fotografías:

David Santiago, Antonio Manzanares y fondos gráficos del CEPRECO

Realización y producción:

GRUPO TRAGSA

A efectos bibliográficos la obra debe citarse como sigue: *Actuaciones a desarrollar en caso de un vertido de hidrocarburos* / Centro para la Prevención y Lucha contra la Contaminación Marítima y del Litoral (CEPRECO). - Madrid : Ministerio de la Presidencia, 2006. - 206 p. - (CEPRECO. Serie Técnica).

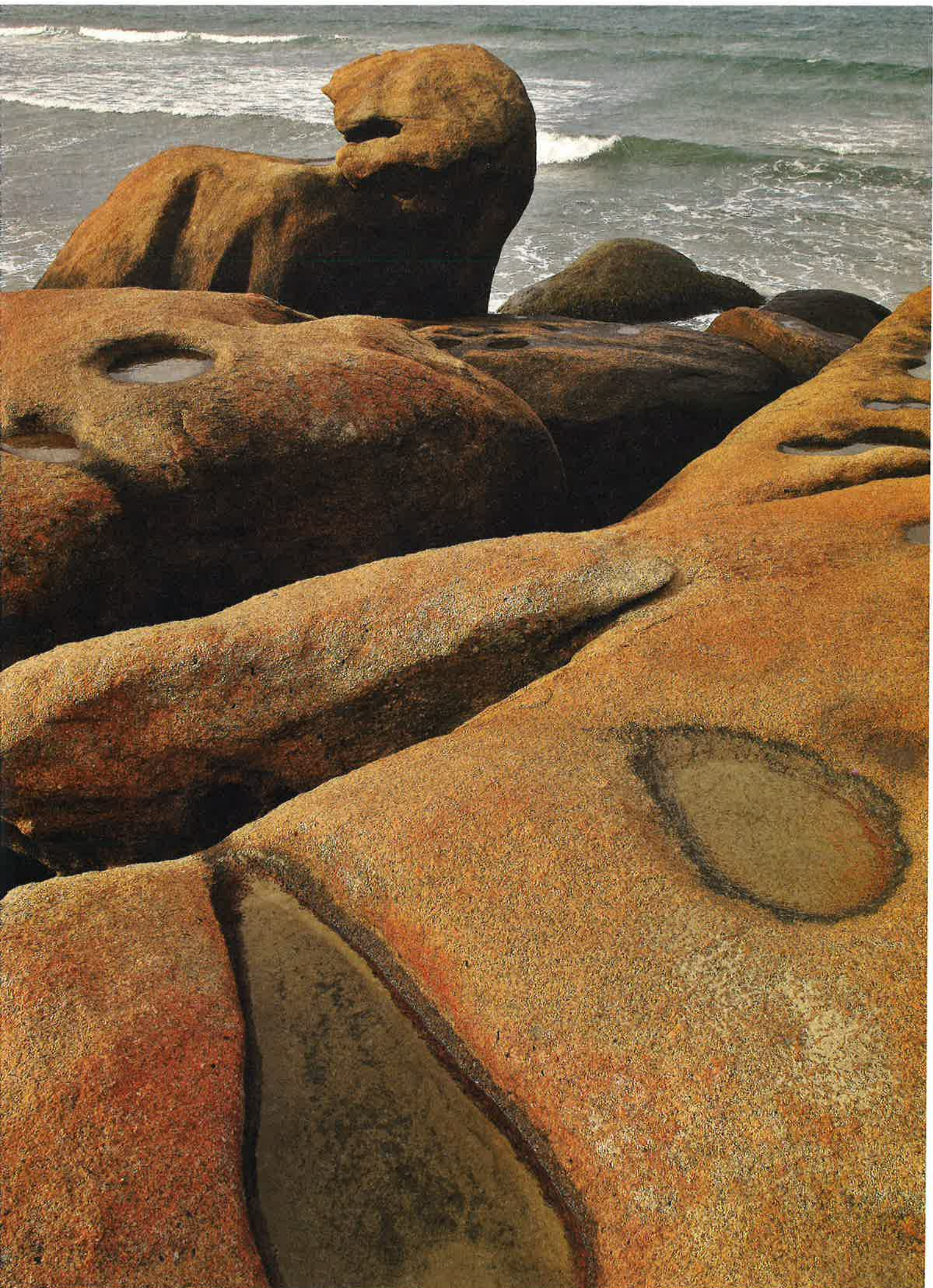
Edita: Ministerio de la Presidencia. Secretaría General Técnica

NIPO: 000-06-004-X

Depósito legal: M-21059-2006

ISBN: 84-7471-133-9

Imprime: Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado



Prólogo

- ▶▶ El hidrocarburo vertido en el mar, por cualquier causa, acaba alcanzando en algún momento un cierto lugar de la costa, al menos la fracción que no haya podido ser extraída del mar mediante alguno de los medios de intervención marítima.

La llegada de manchas de combustible a la costa, arrastradas por las corrientes, el oleaje y el viento, puede afectar directamente a la integridad de los diferentes ambientes litorales, y por esa razón el Ministerio de Medio Ambiente debe estar presente en las actuaciones de respuesta ante este tipo de episodios, en ejercicio de las competencias que la Ley de Costas le atribuye para la "protección, defensa y conservación, del dominio público marítimo-terrestre, así como su uso".

Precisamente la amplia variedad de espacios y ecosistemas litorales, exige un tratamiento específico y adaptado a las características y a los requerimientos ambientales y funcionales de cada uno, pues se trata de elementos del patrimonio natural del territorio que juegan un importante papel para la biodiversidad, y para el intercambio de biomasa y energía entre los medios marino y terrestre.

La experiencia desarrollada en nuestro país en los trabajos de respuesta en la costa ante episodios y accidentes de contaminación por vertido de hidrocarburos durante los últimos años, estimuló la elaboración de determinados protocolos de intervención por parte del Ministerio de Medio Ambiente, que se han aplicado con éxito en los más recientes episodios ocurridos, y que constituyen el embrión de esta importante publicación del Centro para la Prevención y Lucha contra la Contaminación Marítima y del Litoral (CEPRECO).

Ahora el CEPRECO ha completado y precisado con mayor detalle y rigor los protocolos de actuación existentes, y ha añadido nuevos procedimientos que se extienden prácticamente a toda la casuística y todos los ambientes litorales que las manchas de hidrocarburos pueden encontrar cuando alcanzan la costa.

Este meritorio trabajo del recién creado órgano de la Administración General del Estado da una respuesta eficaz a uno de los retos más difíciles a los que se enfrenta la costa española (especialmente en algunas zonas muy sensibles y expuestas), puesto que se trata de


combatir los efectos de unos riesgos sobre los que nuestro país no tiene todo el control.

El interés de esta publicación es universal, pues resulta directamente aplicable al litoral de cualquier zona del mundo, y los procedimientos que recoge están suficientemente avalados y contrastados por la experiencia vivida en la costa española, y el esfuerzo de miles de personas en las tareas de limpieza y tratamiento en áreas costeras afectadas por la llegada de hidrocarburos desde el mar.

Además, también constituye una novedad documental pionera en este campo, puesto que hasta ahora no existía ninguna publicación que recogiera de forma rigurosa y sistemática los procedimientos de respuesta en la costa frente a la contaminación por hidrocarburos.

Y, finalmente, hay que resaltar una faceta del documento que lo hace especialmente valorado por el Ministerio de Medio Ambiente, y es su orientación hacia los objetivos de preservación y recuperación de los valores ambientales y la biodiversidad de los ambientes y ecosistemas litorales dañados o amenazados durante este tipo de episodios.

Todo ello confiere a esta publicación el carácter de referente mundial en la materia, y por esa razón la Dirección General de Costas, como brazo ejecutor del Ministerio de Medio Ambiente para la preservación de la costa y sus hábitat, celebra con satisfacción la aparición de lo que seguramente será un clásico en la literatura de la lucha contra la contaminación de la costa por hidrocarburos.



José Fernández Pérez
Director General de Costas
Ministerio de Medio Ambiente

PRÓLOGO

▶ La Constitución española reconoce el derecho de todos a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona y también el deber de todos de conservarlo.

Nuestra ubicación geográfica, el elevado tránsito marítimo ante nuestras costas de buques que transportan hidrocarburos, y las malas condiciones meteorológicas que se producen en determinadas épocas del año, contribuyen, sin duda, a situarnos en una zona con un alto nivel de riesgo en materia de accidentes marítimos. En concreto, conviene recordar que España se encuentra situada entre dos de los corredores marítimos de mayor tráfico en el ámbito del continente europeo.

Como consecuencia, hemos tenido ya una notable experiencia en contaminación por accidentes marítimos, que por otra parte, ha contribuido a un incremento de la sensibilización social ante este tipo de sucesos. Los Gobiernos y las Administraciones, hemos de adaptar y perfeccionar nuestras estructuras organizativas de acuerdo con las necesidades y respuestas, que según demandan los ciudadanos, han de ser cada vez más eficientes.

Es en este marco donde procede encuadrar la creación, el 12 de noviembre de 2004, del Centro para la prevención y lucha contra la contaminación marítima y del litoral, conocido como CEPRECO, que nace con la intención de colaborar en la protección y defensa del medio ambiente marino y de las costas, respondiendo también a la decidida voluntad del Gobierno de sentar las bases que permitan la coordinación y cooperación permanente entre los agentes implicados en esta materia.

Y ello, a través de una estructura administrativa con dependencia directa de la Vicepresidenta Primera del Gobierno, y en cuya Comisión Ejecutiva están representados todos los centros directivos de la Administración General del Estado con competencias en la lucha contra la contaminación marítima y del litoral.

Dentro de las competencias encomendadas al CEPRECO destaca la de fomentar y dirigir estudios sobre nuevos sistemas de lucha contra la contaminación y, en general, fomentar la investigación científica y técnica en esta materia, así, pretendemos comenzar con este primer libro, una colección de publicaciones especializadas que sistematicen y divulguen información y estudios, aprendidos y perfeccionados, tras siniestros como el Prestige, contando para ello, con la colaboración de expertos científicos en la materia.

En esta primera publicación se reflejan distintos procedimientos de actuación para la

retirada de restos de fuel en la costa, adaptados a las condiciones naturales y medioambientales del entorno.

La colaboración existente entre la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente y el CEPRECO, ha dado lugar a la elaboración de algunos de los procedimientos que aquí se recogen, que se completan con otros de nueva redacción elaborados por el CEPRECO. La suma de todos ellos conforma una completa publicación basada en la experiencia propia y en el máximo respeto a los valores ecológicos y geomorfológicos que caracterizan a algunas zonas de nuestra costa. Se trata por tanto, de la sistematización de procedimientos necesarios como herramienta de actuación para hipotéticos casos futuros.

De este modo, se configura una línea de trabajo de evidente finalidad práctica, que pretende facilitar a los gestores y a los técnicos, la consulta de guías, manuales de procedimientos, y estudios e informes especializados; en definitiva, cuanto mayor sea nuestro conocimiento acerca de estas cuestiones y más sistematizada esté nuestra información, mejor podrá ser nuestra respuesta, si fuere necesaria.

Por otra parte, hemos considerado también necesario, abordar la publicación de este libro en inglés, con el fin de favorecer la divulgación del mismo, en los distintos foros nacionales e internacionales en los que el CEPRECO tiene presencia, prácticamente desde su creación.

Este es el compromiso que nos planteamos y en el que estamos trabajando desde el CEPRECO, con la esperanza de poder ayudar y contribuir a la consecución del gran reto que supone la lucha contra la contaminación por derrames de hidrocarburos y la minimización de sus efectos.



Purificación Morandeira Carreira

*Directora del Centro para la prevención
y lucha contra la contaminación marítima
y del litoral (CEPRECO)
Ministerio de la Presidencia*

Introducción

- ▶▶ Las costas son elementos frágiles, formados a través de millones de años por combinación de factores geológicos y por el modelado de las aguas marinas y continentales.

Constituyen la franja de transición entre el mar y la tierra emergida, límite que ha ido variando a lo largo del tiempo geológico, influido por la tectónica de placas y las variaciones de oscilación del nivel del mar. En las costas tiene lugar una singular explosión de vida, favorecida por el intercambio entre los dos medios y el aprovechamiento mutuo de sus posibilidades. En ellas se suceden ecosistemas dunares, marismas, acantilados, etc. y, en la zona submareal, se desarrollan algunos de los ecosistemas más ricos del planeta, por lo que resulta evidente la importancia de la protección de estos espacios para la conservación de la biodiversidad.

A su vez, la acción erosiva del mar da lugar a elementos singulares de morfología costera, que constituyen formaciones de gran valor científico y paisajístico, que forman parte del patrimonio común.

En las costas, y especialmente en España, se asienta una parte importante de la población del planeta, ya que el mar siempre ha ejercido una gran atracción para las sociedades por ser fuente de recursos naturales a través de la pesca, el marisqueo o los cultivos marinos, y espacio de intercambio comercial con un gran potencial para el turismo y el descanso.

También en estos espacios costeros se asientan importantes centros de producción, favorecidos por el rápido y económico acceso a las más diversas materias primas, como el petróleo y sus derivados, que constituyen un pilar fundamental en la civilización actual, y que ha sabido encontrar en el mar rutas de transporte alternativas.



INTRODUCCIÓN

El transporte de petróleo por vía marítima genera un importantísimo tráfico entre los centros de extracción y los de transformación y, una vez transformado, desde éstos hacia las zonas de consumo. Según estimaciones de 2003, el volumen total de este sector representa el 35% del transporte marítimo internacional.

Pero el tráfico naval de hidrocarburos tiene un riesgo evidente, existiendo un grado de incertidumbre sobre la posibilidad de un accidente marítimo en general y de un buque que transporte mercancías peligrosas en particular. La experiencia nos muestra que en determinadas costas del planeta convergen distintos factores de riesgo: proximidad de corredores de tráfico marítimo con importante transporte de hidrocarburos, costas sometidas a temporales frecuentes e intensos, proximidad de centros de producción, transformación y consumo, o viejos buques que navegan sin las adecuadas condiciones de seguridad.

Las escenas de desolación asociadas a las grandes catástrofes ambientales, provocadas por vertidos de petroleros, están en la retina de todos, siendo sucesos que generan una importante movilización social. Escenas de playas o marismas cubiertas por el fuel, aves petroleadas o pescadores que pierden abruptamente su medio de vida, tienen una gran repercusión y se suscita una inmediata marea de solidaridad para reducir sus efectos.

En paralelo con estas catástrofes ambientales, tienen lugar numerosos sucesos de contaminación de baja intensidad ocasionados por vertidos de volúmenes más reducidos pero con una gran probabilidad de repetirse, como sucede en algunas zonas de nuestro país.

Se deben de tratar de reducir los factores de riesgo controlables. El disponer de una normativa marítima más estricta que limite la navegación de buques inadecuados, la implantación de controles abundantes, la regulación del tráfico marítimo y su separación de zonas especialmente sensibles constituyen pilares básicos de las políticas preventivas.

Resulta necesario establecer una política preventiva que contribuya a reducir al máximo los factores de riesgo controlables, y disponer de una estricta normativa marítima que limite la navegación de buques inadecuados, al tiempo que promueva la implantación de abundantes controles, así como la regulación del tráfico marítimo, procurando que las rutas de transporte de hidrocarburos estén alejadas de aquellas zonas especialmente sensibles.

Aumentando estas acciones previas, que constituyen los pilares básicos de las políticas preventivas, se reduce la posibilidad de la catástrofe, pero aún así la experiencia pone de manifiesto que siempre existe el riesgo de que pueda desencadenarse una sucesión de factores que provoquen un nuevo vertido y, en ese caso, resulta esencial poder disponer de unos manuales de actuación que sirvan a los gestores para organizar la respuesta, reduciendo el tiempo de incertidumbre hasta la toma de decisiones.

Como consecuencia de esta situación y, ante la evidente vulnerabilidad de nuestras costas,

situadas en la proximidad de las rutas de tráfico marítimo más importantes del mundo, en noviembre de 2004 se creó el Centro para la Prevención y Lucha contra la Contaminación Marítima y del Litoral (CEPRECO) dependiente del Ministerio de la Presidencia, como organismo especializado en la materia y que, entre otros cometidos, tiene como función facilitar la coordinación de los departamentos competentes de la Administración del Estado, articular instrumentos de cooperación con las Administraciones Autonómicas y Locales y fomentar estudios, protocolos, planes de contingencia y, en general, todo aquello que aúne esfuerzos en materia de prevención y lucha contra la contaminación marítima y del litoral.

En este contexto, desde el CEPRECO se está avanzando en la unificación y difusión de procedimientos de respuesta frente a vertidos, con el objeto de que sean accesibles a potenciales gestores de crisis. Para ello se trabaja conjuntamente con otros departamentos de la administración y grupos especializados, aprovechando todas las experiencias en distintos campos, la mayoría de las ocasiones, dispersas.

A continuación recogemos ocho procedimientos de actuación como guías para responder a la contaminación provocada por hidrocarburos en distintas situaciones espaciales y temporales. Se incluyen desde recomendaciones para la recogida manual de fuel, hasta la recuperación de aves petroleadas y técnicas innovadoras de biorremediación, pasando por procedimientos de descontaminación de playas, rocas o ecosistemas singulares.

Estos procedimientos han sido elaborados por la Administración General del Estado a raíz del vertido del *Prestige* ocurrido en noviembre de 2002, y que provocó una de las catástrofes ecológicas más importantes de la historia reciente de España. Las guías Nº 2, 3, 4 y 5 fueron dirigidas por técnicos del Ministerio de Medio Ambiente en el momento del vertido contando con la colaboración de especialistas en los distintas materias.

Con el fin de aumentar su ámbito, estos procedimientos, elaborados para responder inicialmente a una situación de contaminación generalizada, se han complementado en esta edición en base a los resultados obtenidos.

Por su parte, las guías Nº 1, 6, 7 y 8 recogen las más recientes experiencias a nivel nacional e internacional en este campo de investigación, y han sido dirigidas por técnicos del CEPRECO, con la colaboración de especialistas en distintas materias.

En estos manuales se describen las recomendaciones necesarias, a aplicar por los gestores de la crisis, para la organización de la respuesta, tanto si se trata de vertido de baja intensidad, como si el desastre alcanza dimensiones considerables.

Agradecemos todas las posibles sugerencias de mejora que se puedan presentar, para incorporarlas en las sucesivas ediciones, pues la lucha contra la contaminación por hidrocarburos está en continua transformación y mejora de eficacia. De cada nuevo suceso se desprenden enseñanzas que podrán ser aplicadas en el futuro.

INTRODUCCIÓN

ÁMBITO DE APLICACIÓN Y METODOLOGÍA**Guía 1: Recomendaciones para la limpieza manual de arenales**

Establece sencillas y claras pautas metodológicas para la organización de los trabajos de limpieza manual en sistemas sedimentarios costeros (arenales/playas) afectados por un vertido de hidrocarburos. Se aborda el análisis de los riesgos derivados de estas labores, las medidas preventivas y correctoras correspondientes, así como recomendaciones para la gestión y transporte hasta el gestor autorizado de los residuos recogidos. Pretende ser una herramienta orientadora para gestores y técnicos, en las decisiones que se tomen para realizar la limpieza de un hábitat de este tipo contaminado por hidrocarburos.

Este procedimiento destaca que, tanto o más importante que la elección del método más adecuado de limpieza, resulta la organización de estos trabajos, así como las medidas de seguridad, el conocimiento de los riesgos y la puesta en práctica de las suficientes medidas preventivas (se detallan las normas sobre riesgos y medidas preventivas, así como los equipos de protección individual que han de llevar los trabajadores).

Una vez que los responsables o coordinadores de las labores de limpieza en un tramo costero, previo análisis de los informes del estado del litoral, decidan que se va actuar en una determinada zona y se asignen unos medios personales y materiales, en primer lugar se debe delimitar correctamente la zona de trabajo, incluyendo toda la infraestructura necesaria y, en segundo lugar, informar y organizar al personal de los equipos. El objetivo es hacer más eficaz y eficiente el trabajo, al tiempo que reducir al máximo los riesgos derivados de esta actividad.



Guía 2: Procedimiento para la investigación, análisis y diagnóstico de la presencia de fuel en la arena de las playas

Este procedimiento responde a la necesidad de evaluar la situación medioambiental de las playas presumiblemente afectadas por un vertido. Para ello se necesita un muestreo exploratorio del sedimento que confirme, en su caso, la existencia de niveles de contaminación por hidrocarburos.

En este protocolo se define un plan de muestreo con recomendaciones sobre la localización de los puntos de toma de datos, su número óptimo, y las muestras necesarias a recoger en cada punto de muestreo. También se detallan las analíticas a ejecutar sobre cada muestra, los procedimientos de análisis, los criterios de valoración que pueden establecerse, y los medios materiales y humanos necesarios para llevar cabo este procedimiento.

Es importante considerar que los resultados y conclusiones obtenidos tras la realización de estas exploraciones, son válidos para el momento de su ejecución. Cualquier variación sustancial del tipo o la intensidad de la contaminación debida a nuevos aportes de hidrocarburo, obligará a una nueva investigación, así como a la realización de nuevos análisis y diagnósticos.

Guía 3: Procedimiento para la limpieza de zonas rocosas e infraestructuras mediante lavado con agua a presión

Este procedimiento pretende servir de pauta para la limpieza de los distintos tipos de hábitat rocosos litorales.

En la mayor parte de los entornos rocosos costeros, la operación manual de retirada de fuel está limitada por la viscosidad y adherencia del hidrocarburo que impregna las rocas, impidiendo su limpieza eficaz por medios manuales. Por ello, es necesario buscar otros métodos complementarios que se centrarán en el espacio intermareal y supralitoral, donde el oleaje y salpicaduras han dejado manchas de fuel, con un importante impacto paisajístico retrasando, al mismo tiempo, los procesos de recuperación ambiental.

En este procedimiento se contemplan dos formas de actuar en el lavado de agua a presión, dependiendo de la presencia o no de seres vivos en las rocas, basados en la limpieza con agua de mar a temperatura ambiente en aquellas zonas en que se detecte la presencia de seres vivos y en espacios de alto valor ecológico o, el uso de agua caliente en aquellas rocas donde no estén asentados seres vivos, y en construcciones artificiales como paseos marítimos, diques, espigones, varaderos, muelles o en todos aquellos lugares donde la estética de la zona sea muy relevante.

Sea con agua a temperatura ambiente o caliente, debe controlarse la presión para evitar el desprendimiento, arranque o desplazamiento de los seres vivos y la contaminación del entorno no contaminado.

INTRODUCCIÓN

También en este manual se describen y analizan los lugares en que esta técnica puede aplicarse, los parámetros de trabajo, la preparación de las zonas, las condiciones de aplicación del agua a presión, la evolución de los trabajos sobre el terreno, así como los medios y el personal necesarios. También se mencionan principios de seguridad y salud, en especial la protección individual y la descontaminación del personal que trabaje con esta técnica.

Guía 4: Procedimiento para la limpieza de playas con contaminación en capas profundas

Tiene su ámbito de aplicación en aquellas playas donde se detecte fuel en capas profundas, siempre que permita su retirada con las precauciones medioambientales oportunas. En el texto se describen los métodos de limpieza y las zonas que resultan más adecuadas para su aplicación.

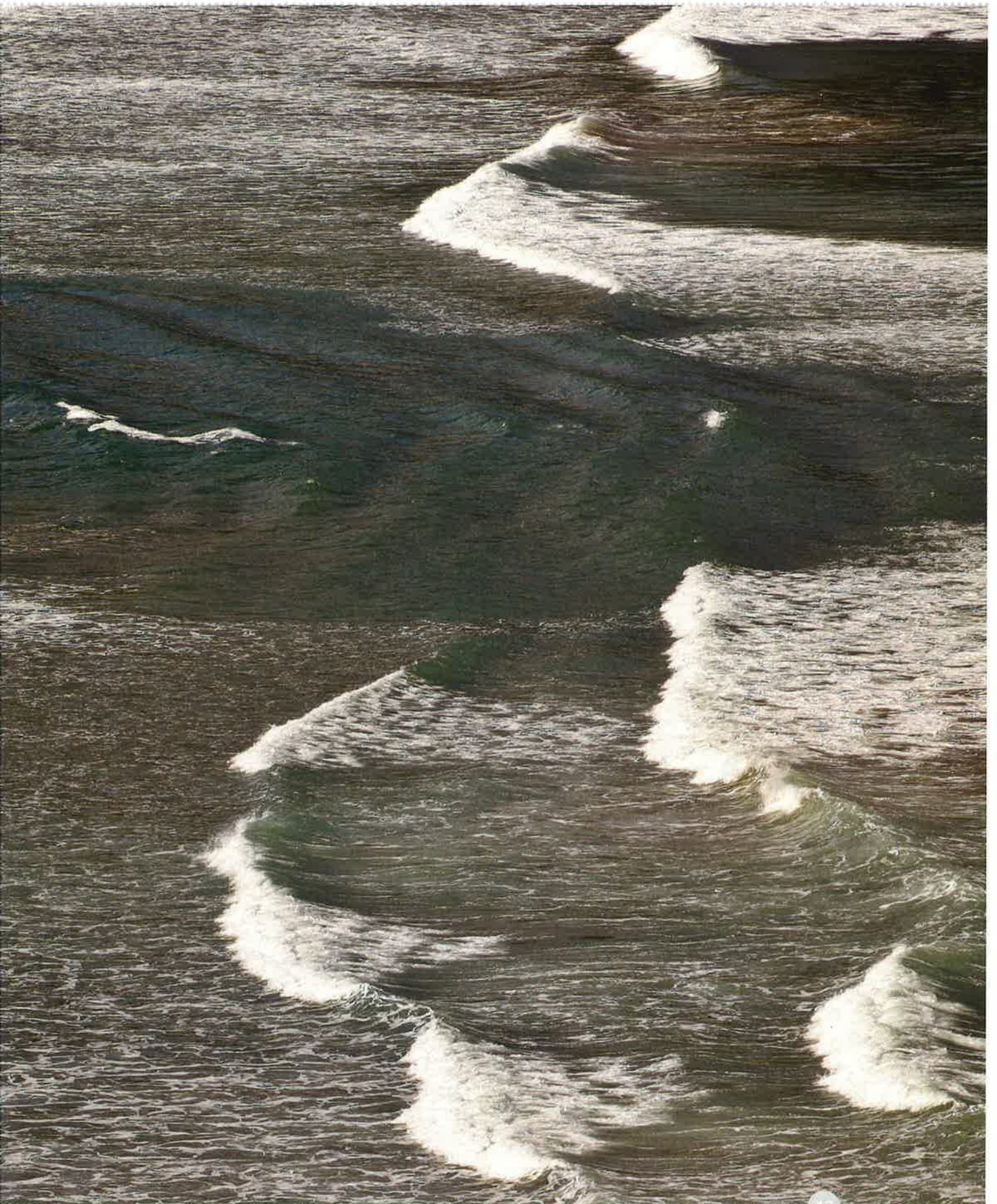
En este procedimiento se estudian 6 casos generales, proponiendo para cada uno de ellos, la metodología a aplicar, bien con medios mecánicos, manuales, o la combinación de ambos. Además, se definen concisamente los requerimientos básicos para el seguimiento de este proceso. Finalmente se menciona la generación de residuos y contaminación de material limpio, así como las precauciones para evitar el impacto secundario derivado de la afección a zonas sensibles.

La retirada de la contaminación no puede generar daños superiores a su permanencia. La posibilidad de generación de impactos ambientales y de contaminación secundaria, derivados de los trabajos de limpieza, deberá ser controlada para garantizar la correcta aplicación de este método.

Guía 5: Procedimiento para la limpieza de borde vegetal afectado y áreas con presencia de contaminación secundaria

Los episodios de contaminación costera o las propias tareas de limpieza, pueden llegar a afectar a determinadas zonas sensibles, entendiéndose como tales todas aquellas que llevan asociadas al borde litoral, valores biológicos, sociales, o bien geomorfológicos y paisajísticos.

Cualquier actuación sobre estas zonas requiere un diagnóstico ambiental particular para cada zona afectada, y la colaboración directa de los técnicos especialistas que han dirigido las labores de limpieza en la propuesta de soluciones. Por ello, en este procedimiento, se plantea como acción previa, realizar un análisis ambiental de la zona afectada, con la posterior propuesta de actuación en la que se incluya el establecimiento del objetivo de limpieza, las características del residuo, los métodos y/o técnicas de actuación, las limitaciones y prevenciones ambientales que deben imponerse, la estimación de los recursos necesarios y duración prevista de las labores y, finalmente, la estimación de las actuaciones complementarias para la recuperación del ámbito afectado, con una propuesta de vigilancia y seguimiento.



INTRODUCCIÓN

Por otra parte, en este procedimiento se estudian diversos casos de zonas sensibles (poblaciones de especies vegetales protegidas, zonas próximas a turberas litorales, zonas de marisma, etc.) de afección por fuel o impacto secundario por las tareas de limpieza, incluyendo recomendaciones de actuaciones específicas para cada caso concreto.

Guía 6: Procedimiento para la limpieza de playas de cantos y bolos

Las playas de cantos son un tipo de formación geomorfológica litoral que aparece en multitud de zonas de la costa atlántica; se trata de depósitos marinos formados por acumulación de cantos o bloques redondeados considerados como puntos de interés geomorfológico. Son característicos de playas de alta energía y reciben numerosas denominaciones: playas de cantos, playas de grava, playas de guijarros, en Galicia se conocen como coídos, cantís o boleiras, en Asturias y Cantabria, como pedreros, y playa de callaos en las Islas Canarias.

Estas formaciones tienen un importante valor científico y cultural, dada su geomorfología y su belleza paisajística, por lo que resulta fundamental conservar la estructura original de la playa en cuanto a la disposición de los materiales y la conformación de la misma.

Como medida urgente, el procedimiento establece pautas metodológicas de actuación en la limpieza de playas de cantos, ante un vertido de hidrocarburos en la costa, pretendiendo ser una herramienta orientada a gestores y responsables de actuaciones paliativas y en la toma de decisiones para realizar la limpieza en este tipo de hábitat.

A su vez, describe los distintos métodos que pueden utilizarse, como la recogida mecánica directa, la limpieza manual, el reblandecimiento en balsas e hidrolimpieza posterior, la bioestimulación con nutrientes en balsas, o los distintos tipos de desplazamiento de bolos hacia la línea de rompiente del oleaje. Finalmente se citan otras propuestas de actuación, como el lavado de bolos en planta, o la inundación con agua para lavado de zonas afectadas por arrastre de material contaminado.

Por último, el procedimiento analiza también la organización del trabajo y la minimización de impactos ambientales derivados de estas técnicas de limpieza, proponiendo recomendaciones específicas para cada tipo.

Guía 7: Procedimiento para actuación con técnicas de biorremediación en entornos rocosos impregnados de fuel

La biorrecuperación, o potenciación de los procesos naturales de biodegradación del petróleo, resulta de gran efectividad una vez que los métodos mecánicos de recogida del contaminante pierden su eficacia. Básicamente consiste en reforzar, mediante la siembra de las áreas afectadas con bacterias petroleolíticas de origen silvestre, autóctono o alóctono, o bien la adición en las áreas afectadas de nutrientes auxiliares (N, P, Fe, etc.) y otros activadores del crecimiento bacteriano, que vienen a favorecer el desarrollo de especies petroleolíticas autóctonas.

Según distintos autores, desde mediados del siglo pasado vienen ingresando en el mar, procedentes de diversas fuentes de contaminación, unos cinco millones de toneladas de petróleo por año, lo que hubiera dado ya lugar a una situación imposible de ignorar si los hidrocarburos fuesen tan poco biodegradables como, por ejemplo, algunos insecticidas clorados, o los bifenilos, terfenilos o naftalenos policlorados. Ello demuestra que la biosfera metaboliza los diferentes componentes de los crudos.

Este procedimiento pretende establecer una guía que permita la aplicación de esta técnica en entornos rocosos litorales contaminados por fuel, contemplando unas consideraciones generales sobre su uso, sus condiciones de aplicación en diferentes bordes litorales, así como sus limitaciones y eficacia. Por otra parte se establecen los tipos de biorremedios, la pertinencia y eficacia de su aplicación, las dosis y periodicidad de las mismas, así como los métodos para evaluar la eficacia de los tratamientos. Finalmente se mencionan los biorrefuerzos (especies microbianas conocidas, capaces de asimilar hidrocarburos y libres de riesgos biológicos) analizando sus distintos grados de eficacia. El texto se acompaña de una serie de anexos que dan información complementaria sobre esta técnica.

Guía 8: Recomendaciones para la recogida y transporte de aves petroleadas

Existen protocolos relacionados con el tratamiento de limpieza de aves petroleadas, pero es más difícil encontrar recomendaciones para la recogida y transporte de aves petroleadas, como las incluidas en este procedimiento, donde se establecen las recomendaciones básicas que guíen la toma de decisiones e identifiquen algunas buenas prácticas durante la ejecución de parte de los trabajos que debe asumir un dispositivo de respuesta para aves, activado tras un vertido de petróleo en el mar.

Este procedimiento está dirigido, tanto a aquellas personas con cargos de responsabilidad en la gestión del accidente, como a quienes se puedan ver inmersos en un operativo oficialmente coordinado, reconocido y englobado en un organigrama de respuesta general. Es necesario aclarar que en él sólo se han tratado específicamente las aves marinas, las más afectadas por lo general en un vertido.

El manual se compone de dos partes claramente diferenciadas; en la primera se pretende guiar la toma de decisiones en la definición de estrategias para prevenir que el petróleo afecte a las aves y a sus hábitat; y en la segunda, se tratan diferentes aspectos relacionados con la arribada de aves a la costa, desde la estrategia de búsqueda, las técnicas de captura y manipulación de ejemplares petroleados, los primeros auxilios para estas aves vivas, hasta el traslado a un centro de rehabilitación para su tratamiento.

Finalmente se dan una serie de recomendaciones prácticas para la suelta de ejemplares que hayan sido rehabilitados. Asimismo se aporta información práctica sobre cuestiones de seguridad y salud en la manipulación de aves silvestres, junto con fichas sobre los principales grupos de aves marinas afectadas por estos vertidos, donde se incluyen algunas informaciones esenciales sobre su ecología y otras recomendaciones prácticas para su manejo.

GUÍA

1 Recomendaciones para la limpieza manual de arenales

▶▶ 1. OBJETIVOS Y CONSIDERACIONES GENERALES

Esta guía tiene como principal objetivo el convertirse en una herramienta orientadora que permita a los responsables, o coordinadores, de futuras actuaciones de limpieza de un tramo costero contaminado por hidrocarburos, establecer unas pautas metodológicas en la organización de los trabajos, el análisis de los riesgos derivados, las medidas preventivas y correctoras correspondientes, así como la gestión y transporte de residuos derivados de estas actividades hasta el punto gestor.

Para su elaboración se ha consultado diversa documentación con distintas fuentes nacionales e internacionales (centros especializados, universidades y asociaciones ecologistas). La reciente experiencia del vertido del *Prestige* con los distintos estudios y protocolos desarrollados por técnicos del Ministerio del Medio Ambiente es, así mismo, una fuente básica de formación.

Confiamos en que toda esta experiencia y conocimientos adquiridos serán de gran ayuda para detectar, a la mayor brevedad posible, los problemas causados por un eventual vertido de hidrocarburo, sirviendo para adoptar, en cada caso, la solución de limpieza más efectiva.

▶▶ 2. ORGANIZACIÓN DE LOS TRABAJOS DE LIMPIEZA

Tanto o más importante que la elección del método de limpieza más adecuado o la limpieza en sí, es su correcta organización, pues de ella se derivará un mayor grado de eficacia en los resultados del trabajo, al tiempo que conseguiremos reducir los riesgos derivados de esta actividad.

Para ello, una vez que los responsables o coordinadores generales de un tramo costero, pre-

Cadena de trabajadores retirando residuos de fuel en una playa.





Después de haber realizado un análisis de los informes del estado del litoral, decidan que se va a actuar en un determinado tramo costero y le asignen unos medios tanto personales como materiales, se nombrará un coordinador del mismo que será quien se responsabilice, en un primer momento, de delimitar correctamente la zona de trabajo, dotándola de toda la infraestructura necesaria, ocupándose posteriormente de informar y organizar al personal de limpieza.

2.1 Delimitación de la zona de trabajo

Es importante acondicionar debidamente la zona de trabajo para retirar el hidrocarburo y evitar focos de contaminación secundaria. En cada tramo se delimitarán tres áreas: la zona de servicios o zona limpia, la zona de exclusión, subdividida en zona de acumulación de residuos y zona de descontaminación de personal y materiales, y la zona que debemos limpiar.

2.1.1 Zona de servicios

Se debe establecer un campamento base en una zona accesible y lo más próxima posible al lugar de trabajo. Servirá como zona de suministro de los equipos de protección individual, las herramientas de trabajo y centro de información general.

Esta zona estará dotada de un vestuario, un aseo, un área acondicionada como comedor, y un almacén para EPI's y herramientas de limpieza. Se busca que el personal disponga de una zona confortable y limpia, donde poder cambiarse de vestimenta, comer y descansar adecuadamente.

2.1.2 Zona de exclusión

En las proximidades del área a limpiar, se debe establecer una zona de exclusión que sirva para almacenaje de residuos y descontaminación del



personal, evitando así posibles focos de contaminación secundaria. Esta zona se dividirá en dos partes bien diferenciadas:

- **Zona de acumulación de residuos**

Se debe definir y delimitar correctamente una zona accesible, donde los residuos se acumularán en contenedores o en otro tipo de depósitos totalmente estancos. Deberá acondicionarse previamente, para la protección del sustrato, mediante geotextiles y materiales plásticos que impidan la contaminación por vertidos ocasionales.

- **Zona de descontaminación del personal y los materiales**

En cada entorno de trabajo se deben fijar lugares para la descontaminación del personal y materiales. Esta medida minimizará los posibles episodios de contaminación secundaria. En esta zona, adecuadamente delimitada y cubierta con geotextiles y plásticos, se colocará un depósito para el material y otro para los EPI's contaminados. Dependiendo del tipo de actuación, también puede definirse otra zona, igualmente acondicionada, para la descontaminación de la maquinaria que trabaje directamente en la recogida del fuel.

2.1.3 Zona a limpiar

Es conveniente delimitar el área a limpiar antes de que acceda el personal. Si es posible se balizará la zona con marcadores bien visibles, para que cada grupo de trabajo se ciña a un área delimitada y, así, poder realizar el trabajo de forma organizada, evitando que se contaminen zonas limpias.

Si en las proximidades del lugar de trabajo existen poblaciones sensibles o amenazadas, de especies vegetales o animales, una vez localizadas, se debe proceder a su balizamiento, informando convenientemente de ello al personal de limpieza e impidiendo el tránsito por dicha zona (ver guía Nº 5).



1. Ejemplo de utilización de palas para la retirada de grandes manchas de fuel.

2. Limpieza manual en una playa manchada con restos de fuel.

3. Zona de descontaminación acondicionada.

2.2 Movimiento de personal, maquinaria y residuos en la zona de trabajo

Resulta de especial importancia fijar los itinerarios más adecuados para el tránsito del personal y la maquinaria entre las distintas partes de una zona de trabajo. De esta forma disminuirá considerablemente la contaminación secundaria derivada de la limpieza.

Se debe insistir en que el personal y la maquinaria circulen siempre por estos itinerarios establecidos, denominados "corredores de descontaminación", pues resulta esencial proteger las zonas no contaminadas.

Estos corredores se deben establecer en zonas del arenal totalmente libres de residuos y se marcarán con estacas de madera y cinta de balizar, evitando así que el personal y la maquinaria se desvíen de los itinerarios.

En la zona de acceso, además de balizar, es conveniente proteger el camino con plásticos o geotextiles que impermeabilicen el terreno y eviten que personal y maquinaria contaminen involuntariamente el sustrato.

2.3 Desarrollo de los trabajos

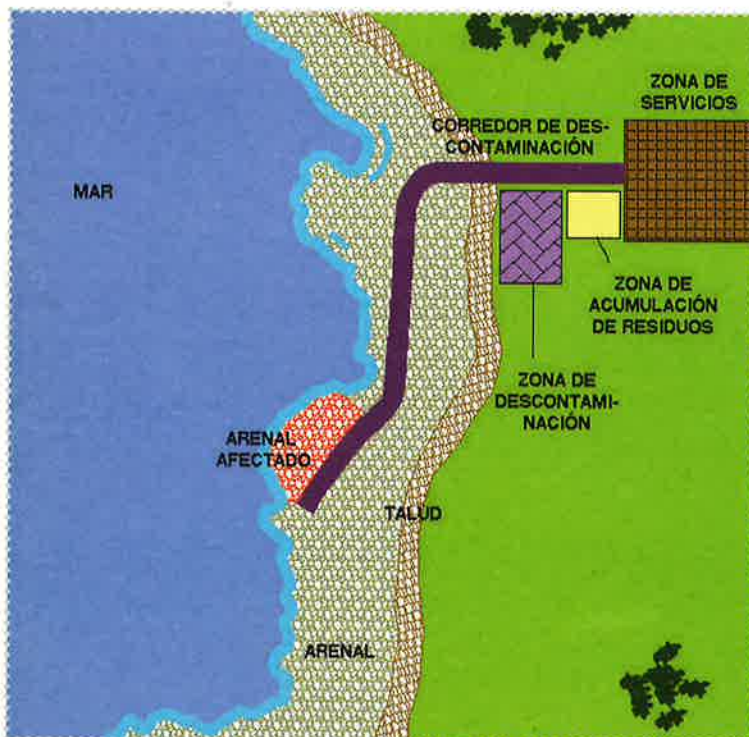
Las fases a seguir desde el inicio de la jornada hasta su finalización serán las siguientes:

En primer lugar todo el personal debe acceder al tajo por la zona de servicios, en donde será equipado conforme al tipo de actividad a realizar, y convenientemente informado de los riesgos que conlleva y de las medidas preventivas a tener en cuenta. Desde este punto se trasladará a la zona de limpieza, utilizando exclusivamente los corredores de descontaminación preestablecidos, evitando el pisoteo de zonas sensibles.

Una vez que el personal empiece a trabajar, los residuos procedentes de las distintas operaciones de limpieza se acumularán en capazos y, cuando haya una cierta cantidad, se procederá a su traslado a la zona de acumulación, utilizando siempre las vías preestablecidas, tanto si se hace mediante cadenas humanas como si son retirados por maquinaria.

Al finalizar la jornada de trabajo, el personal se retirará por los corredores marcados, accediendo a la zona de descontaminación donde depositará la ropa sucia y las herramientas en los contenedores adecuados para, posteriormente, acceder al área de servicios completamente descontaminados.

Figura 1:
Esquema tipo
de una zona
de trabajo.



3. GRUPOS DE TRABAJO. ORGANIGRAMA

Una adecuada formación del personal, así como una cuidada organización del mismo, resultarán esenciales, tanto para reducir los riesgos derivados de este tipo de actividad, como para conseguir maximizar la eficiencia en el trabajo.

El coordinador de cada zona será el responsable de organizar los grupos de trabajo y facilitarles toda la información necesaria.

Este coordinador nombrará a una persona como responsable del material y dividirá al personal en grupos de 10 a 20 operarios, en función del tamaño del tajo y de los puntos de actuación. Dentro de cada grupo se nombrará un "Jefe de Grupo" y un "Manos limpias".

El responsable de material estará encargado de suministrar los equipos de protección y las herramientas necesarias para cada tipo de trabajo. También será quien informe a los operarios sobre la correcta utilización de los EPI's y, al final de la jornada, deberá encargarse de descontaminar y almacenar el material que pudiera ser reutilizado en la jornada siguiente.

El Jefe de Grupo será el responsable de definir e informar sobre el tipo de actuación a desarrollar. También deberá velar por el cumplimiento de las normas de trabajo, organizar la retirada de residuos hasta los contenedores y controlar el material y las necesidades de cada grupo.

La figura del "Manos limpias" resulta imprescindible en una cadena de trabajos de limpieza. Deberá ir equipado con el EPI completo y sustituirá los guantes de trabajo por unos de látex que le facilitarán el desarrollo de su labor. Será quien se encargue de ayudar a los otros operarios a vestirse correctamente y a desvestirse al final de la jornada, así como de atender cualquier otra demanda de los trabajadores surgida durante el desarrollo de las labores de limpieza (facilitar agua, retirar la mascarilla momentáneamente, limpiar las gafas, etc.).

4. NORMAS GENERALES DE LIMPIEZA. HERRAMIENTAS DE LIMPIEZA

Los trabajos de limpieza manual de arenales deben realizarse ordenada y coordinadamente, siendo responsabilidad del coordinador y de los jefes de grupo indicar el procedimiento.

- Como norma general el arenal se limpiará siempre desde la pleamar hacia el mar, evitando así que se pisen zonas contaminadas. Para ello se formará una línea de trabajadores paralela al fuel, y se irá avanzando en dirección al mar.

Se intentará retirar la mayor cantidad de

Figura 2



GUÍA

1

En una zona de difícil acceso es necesario utilizar otros medios, como en este caso un helicóptero.

fuel en el menor tiempo posible, evitando que sea de nuevo arrastrado por la marea o que se entierre por el movimiento de la arena. Por ello se limpiarán primeramente las manchas de mayor tamaño, y en el caso de que éstas no se encuentren en la primera línea de limpieza, se puede proceder a limpiar una zona cercana formando, de ese modo, un corredor de descontaminación que permita al personal acceder al punto de mayor concentración de contaminación.

- El hidrocarburo será depositado en bidones, o capazos dotados de asas, u otro sistema que facilite su transporte hasta el contenedor, donde se verterá su contenido. Si la distancia al contenedor no es muy grande, el personal transportará los capazos formando una cadena humana.
- En playas de gran tamaño se utilizará maquinaria para el transporte de los residuos al contenedor. Por ello es importante delimitar un corredor para la entrada y salida de la maquinaria que deberá estar libre de petróleo para no enterrar el hidrocarburo.
- El personal de coordinación se encargará de facilitar las herramientas e indicar cómo deben ser utilizadas.
- Las herramientas que se utilicen para la limpieza de arenas serán fundamentalmente paletas, palas y rastrillos. Cada una de ellas se adecua a un tipo de trabajo, ya que se trata de minimizar la cantidad de arena mezclada con hidrocarburo que se retira, facilitando las operaciones de transporte, almacenamiento y tratamiento de residuos, al tiempo que se limitan los efectos que ocasionan estas actividades y se disminuye el impacto sobre el medio ambiente.

Las palas son adecuadas para la retirada de masas de fuel en grandes manchas; los rastrillos jardineros para retirar galletas de hidrocarburos presentes en la línea de marea o flotando en el mar; los rastrillos para acumular los restos de fuel seco en pequeños montículos; y las paletas para la retirada de capas profundas y otros trabajos que exijan una mayor meticulosidad.



▶▶ 5. ANÁLISIS DE RIESGOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS

Las tareas que se derivan de la limpieza manual de arenas son, en sí, una actividad de riesgo. Se trabaja al aire libre, en un medio desconocido y en contacto con una sustancia peligrosa. Por lo tanto, es fundamental que se realicen de una forma ordenada y coordinada. Se debe formar e informar adecuadamente a los trabajadores y analizar y prevenir adecuadamente todos los riesgos que puedan derivarse de estas actividades.

Puesto que se trata de una actividad de riesgo, no deben formar parte de los equipos de limpieza aquellas personas:

- Que sufran patologías respiratorias.

- Que sufran patologías cardíacas.
- Que sufran patologías hepáticas.
- Que sufran afecciones cutáneas.
- Mujeres en estado de gestación, niños y ancianos.

5.1 Normas sobre riesgos y medidas preventivas

Tras analizar los riesgos derivados de este tipo de actividad, se han establecido una serie de normas de seguridad y medidas preventivas que deben ser de obligado cumplimiento. (Ver Figura 4: NORMAS DE SEGURIDAD EN EL LUGAR DE TRABAJO y Figura 5: NORMAS DE SEGURIDAD EN LA LIMPIEZA MANUAL DE PLAYAS)

La sustancia o materia que se está manipulando puede penetrar en el organismo de distintas formas:

- 1° **Por inhalación.** El vapor es respirado y pasa fácilmente a través de los pulmones hasta penetrar en la sangre.
- 2° **Contacto con la piel.** El contaminante pasa al torrente sanguíneo a través de la piel.
- 3° **Ingestión.** El contaminante es ingerido a través de la boca por contacto con las manos, bebidas, alimentos y cigarrillos contaminados.

Por lo tanto, se establecen una serie de normas o recomendaciones generales de higiene personal:

- Se deberá evitar, en todo momento, que restos del hidrocarburo entren en contacto con la piel. Para ello se utilizarán los EPI's.
- Si accidentalmente zonas de la piel entrasen en contacto con el hidrocarburo, se limpiarán con productos específicos para eliminar lacas, resinas, etc. NUNCA utilizar gasolinas o disolventes.
- Antes de beber o comer los trabajadores deberán lavarse concienzudamente.
- No se debe beber, comer o fumar en lugares donde esté presente el fuel.
- La ropa de trabajo no desechable deberá ser lavada con frecuencia.
- Está prohibido ingerir alcohol durante las horas de trabajo ya que puede favorecer la aparición de síntomas agudos.

5.2 Equipos de protección individual

Para la realización de los trabajos de limpieza manual de arenales, son de uso obligatorio e individual los equipos de protección individual (EPI's). Los EPI's no tienen por finalidad la realización de una tarea o actividad concreta, sino protegerlos de los riesgos derivados.

Figura 3



NORMAS DE SEGURIDAD EN EL LUGAR DE TRABAJO

RIESGOS

MEDIDAS PREVENTIVAS

<ul style="list-style-type: none"> ● Caídas de personas al mismo nivel. 	<ul style="list-style-type: none"> ● En los desplazamientos pisar sobre suelo seguro, no correr ladera abajo. ● Trabajar con los pies bien asentados en el suelo. ● Transitar por las zonas habilitadas. ● Mirar bien por dónde se pisa y evitar los obstáculos.
<ul style="list-style-type: none"> ● Atropellos y golpes ocasionados por la presencia de vehículos y maquinaria en las zonas de paso y trabajo. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Estar siempre atento a los movimientos de la maquinaria pesada que trabaje en la zona. ● No se trabajará en las proximidades ni en el radio de acción de la maquinaria y/o vehículos que se encuentren en la zona.
<ul style="list-style-type: none"> ● Caída al mar al realizar trabajos próximos en zonas donde la salida puede ser dificultosa. 	<ul style="list-style-type: none"> ● En los trabajos con riesgo de caídas al agua, todo operario deberá permanecer siempre a la vista de algún compañero. ● En las intervenciones en zonas de difícil acceso terrestre deben tenerse en cuenta las mareas y la subida del mar en la pleamar. En todo caso, si las condiciones de seguridad no son satisfactorias debe suspenderse la intervención.
<ul style="list-style-type: none"> ● Caídas a distinto nivel cuando se realicen tareas en zonas situadas en acantilados o en zonas de acumulación de bolos, en los que se alcancen mas de dos metros de altura. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Se seguirán en todo momento las indicaciones de los responsables de la cuadrilla respecto a la utilización de protecciones colectivas o individuales dependiendo del caso.

Figura 4:
Normas de seguridad en el lugar de trabajo.

NORMAS DE SEGURIDAD EN LA LIMPIEZA MANUAL DE PLAYAS

RIESGOS

- Salpicaduras de fuel durante la manipulación del mismo.
- Sobreesfuerzos debidos al mantenimiento de posturas incorrectas durante la realización del trabajo.

MEDIDAS PREVENTIVAS

- Ponga especial cuidado para evitar que le salpique el contaminante.
- Durante la manipulación de fuel se llevarán gafas de seguridad.
- Trabajar a la altura correcta, manteniendo la espalda recta, evitando las posturas incómodas y forzadas.
- Mantener un ritmo de trabajo constante adaptado a las condiciones del individuo.
- No intentar coger peso por encima de nuestras posibilidades.
- Para levantar la carga mantener la espalda recta flexionando las piernas, para realizar con ellas el esfuerzo al estirarlas.
- No se trabajará bajo circunstancias que disminuyan sensiblemente las condiciones físicas del operario.
- Usar la herramienta adecuada para cada tarea.

Figura 5:
Normas de seguridad en la limpieza manual de playas.

1.Llegada de pequeñas "galletas" de fuel a una playa.

2.Zona de almacenamiento y transferencia del residuo contaminado, delimitada y protegida con plástico y geotextil.



GUÍA 1

Todo EPI, o su envase, debe incluir el marcado "CE" y disponer de folleto informativo. El marcado asegura que el equipo reúne las "exigencias esenciales de seguridad y salud" para el uso adecuado. Conjuntamente se suministrará con el equipo, lote o envase, un "folleto informativo" donde aparezcan referenciados, y se expliquen claramente, los distintos niveles de protección que ofrece el equipo, duración, condiciones de utilización, mantenimiento y, en su caso, las sustituciones necesarias. En el seno de la Unión Europea, los EPI's han de cumplir unos requisitos que garanticen la seguridad y salud de los usuarios. Dichos requisitos se denominan "exigencias esenciales de seguridad y salud". La eficacia de los EPI's frente al riesgo depende de su uso correcto. Por lo tanto, es fundamental la formación del trabajador.

Equipamiento básico:

- **Botas:** Deben ser impermeables al agua, a la humedad y a los hidrocarburos. Evitan que el trabajador se manche durante las tareas de limpieza y que se moje en condiciones de trabajo en zonas húmedas. Se deben limpiar diariamente.
- **Traje ligero de protección:** Evita que el trabajador se manche en las tareas de limpieza. Estos equipos tienen una resistencia determinada a la permeación y penetración de hidrocarburos. Para la limpieza manual de arenales se recomienda el Tipo CE categoría III, clase 6-7. Se cambiará todos los días o siempre que se observe cualquier tipo de anomalía en el traje.
- **Mascarilla:** Sirven de protección a las vías respiratorias y evitan la inhalación de hidrocarburos volátiles. Las mascarillas deben estar provistas de filtro de carbono y deben ser del tipo FFP2SL, con protección hasta 10 veces el valor límite de Exposición (10 x TLV). Se cambiará una vez al día o cuando que se de-

1. Detalle de una zona de descontaminación de trabajadores en tareas de recogida de fuel.

2. Limpieza manual de residuos de fuel retirados de una playa mediante dos cadenas de trabajadores.



tecte el olor del fuel a través de ella o se haya manchado accidentalmente.

● **Guantes:** La utilización de guantes adecuados impedirá la penetración de los hidrocarburos y su contacto con la piel. Deben ser cómodos para facilitar las tareas de limpieza. Son recomendables los guantes de empuñadura larga de nitrilo o PVA y aceptables los de neopreno o PVC. Se cambiarán siempre que sufran alguna rotura o estén tan impregnados de fuel que resulte difícil su uso.

● **Gafas:** Tienen como función la protección integral frente a salpicaduras de hidrocarburos e impactos de objetos. Se pueden reciclar y limpiar con aceites adecuados, aunque se deben eliminar cuando se observe en ellas una rotura, o estén tan impregnadas de fuel que resulte difícil su uso.

Equipamiento Opcional:

● **Traje de agua:** Protege al trabajador cuando se realicen trabajos con tiempo lluvioso. Se utilizará por debajo del mono de protección para evitar que se manche y así poder reutilizarlo. Se debe cambiar cuando haya sufrido algún tipo de deterioro.

● **Gorra:** Evita las molestias producidas por trabajos realizados a la intemperie en días de gran insolación.

● **Calzas:** Se pueden emplear recubriendo las botas para evitar que se manchen y así poder reutilizarlas.

Labores de recogida de restos de un vertido en un arenal.

OBSERVACIONES

- El uso de los equipos de protección individual es OBLIGATORIO.
- El almacenamiento de los equipos y prendas no usados o no desechables, deberá realizarse de tal forma que se evite su posible contaminación.
- Los equipos desechables ya utilizados deberán almacenarse en recipientes cerrados, convenientemente señalizados como residuos peligrosos.



6. GESTIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS HASTA EL GESTOR. CALIDAD MEDIOAMBIENTAL

Es de vital importancia la correcta gestión y transporte de los residuos retirados del arenal, junto con otros desechos que se generen como consecuencia de esta actividad. Si la operación no se hace de forma correcta, se estará provocando un segundo impacto sobre el medio ambiente.

Como se ha comentado en el punto 2.1.2 se debe acondicionar una zona para acumulación de residuos, próxima al arenal y accesible a los vehículos de transporte.

Es muy importante que se tenga especial cuidado al separar los residuos que se produzcan durante la limpieza de playas, ya que van a sufrir distintos tratamientos en el gestor.

Los residuos se pueden clasificar en:

- Fuel y gasóleo (fuel o mezclas agua-fuel, gasoil usado en limpieza de herramientas o EPI's).
- Tierras y arenas contaminadas con hidrocarburos (mezclas de arena y fuel).
- Ropas protectoras, plásticos y maderas, contaminadas con sustancias peligrosas.
- Envases que contienen restos de sustancias peligrosas (capazos y contenedores desechados contaminados).

Para separar estos residuos es conveniente disponer de contenedores metálicos para la acumulación de fuel y tierras y arenas contaminadas, y contenedores de plástico para acumular ropas, plásticos, maderas y otros envases contaminados con sustancias peligrosas. En los contenedores para fuel, es conveniente colocar un plástico sobre el fondo y las paredes, para evitar que se produzcan derrames de fuel y para facilitar el vaciado, ya que también impide que el fuel se adhiera a las paredes del contenedor.

Desde la zona de acumulación, estos residuos pueden ser transportados directamente en los contenedores hasta un gestor, o pueden centralizarse en un punto de transferencia correctamente acondicionado, para su posterior traslado en camiones de mayor tonelaje. Si se hace trasvase en un punto de transferencia de contenedores a camiones-bañera, es fundamental evitar que se mezclen distintos tipos de residuos.

Los contenedores deberán estar completamente estancos, y serán etiquetados según el tipo de residuo que contengan, siguiendo la normativa vigente de residuos peligrosos dictada por el organismo competente (ver figura 6).

Cualquier movimiento de estos residuos peligrosos debe ser realizado por transportistas autorizados por el organismo competente, y tanto los contenedores

Figura 6: Ejemplo de etiquetado de Residuos peligrosos.

RESIDUOS PELIGROSOS	
RESIDUOS PELIGROSOS	
NOMBRE: Tierras y Arenas Contaminadas con Hidrocarburos	
CÓDIGO CER: 17 05 03	
CÓDIGO 952/97: Q4//D15//S23//C51//H5//A102//B0005	
TITULAR:	
Xn 	FECHA INICIO ALMACENAMIENTO:
	FECHA DE RECOGIDA:
NOCIVO	

como las bañeras deben ir correctamente toldados.

Para el transporte de los residuos hasta un gestor autorizado se deben seguir una serie de requisitos administrativos:

- Solicitar documento de aceptación del gestor.
- Notificar el traslado.
- Cumplimentar el documento de control y seguimiento (ver figura 7) y entregar los residuos a un transportista autorizado.

MODELO DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

DOCUMENTO DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS						
(Artículo 36 - RD. 833/88 - B.O.E. Del 30/7/88, modificado por el R.D. 952/97 B.O.E. DE 3/7/97 y Orden MAM/304/2002, B.O.E. N.º 43 de 19/2/02)						
Firma del responsable del envío						
Documento n.º GA N.º						
A. DATOS A CUMPLIMENTAR POR EL REPRESENTANTE						
A.1. DATOS DEL CENTRO PRODUCTOR						
Márquese con una X según sea: PRODUCTOR <input type="checkbox"/> GESTOR INTERMEDIO <input type="checkbox"/>						
Razón social			N.I.F.:			
Denominación del centro			N.I.R.L.:			
Dirección			Provincia:			
Localidad			N.º Tel.:			
Persona responsable			N.º Fax.:			
A.2. DATOS DEL RESIDUO QUE SE TRANSIERE						
N.º de aceptación			N.º de orden de envío			
Características remarcables para su transporte y manejo						
Código según Lista Europea de Residuos (L.E.R.), Anexo 2 Orden MAM/304/2002			(seis dígitos)			
Descripción						
Cantidad Kgs. Netos			Kgs brutos, incluso recipientes			
Código según tablas del Anexo 1 del R.D. 952/97						
Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3	Tabla 4	Tabla 5	Tabla 6	Tabla 7
Q	D		C	H	A	B
	R		C	H	A	
Descripción						
A.3. DATOS DEL GESTOR A QUE SE ENVIAN						
Razón social			N.º de autorización			
N.º Tel.:			N.º Fax.:			
Denominación del centro			N.I.F.:			
			N.I.R.L.:			
Dirección			Provincia			
Localidad						
A.4. DATOS DEL TRANSPORTE COMPLETO PREVISTO						
Primer traslado: Fecha de inicio			Fecha de entrega			
Razón social			Matrícula del vehículo			
Tipo de transporte			N.º Tel			
N.I.F. Del transportista			N.º Fax			
Segundo traslado: Fecha de inicio			Fecha de entrega			
Razón social			Matrícula del vehículo			
Tipo de transporte			N.º Tel			
N.I.F. Del transportista			N.º Fax			
B. DATOS A CUMPLIMENTAR POR EL DESTINATARIO						
Incidencias respecto a los datos del bloque A:						
ACEPTACIÓN SI		NO		Firma del responsable		
Fecha						
Firmado (Nombre y apellidos): D.						

Figura 7: Modelo de Documento de Control y Seguimiento de Residuos Peligrosos.

Fuente: Xunta de Galicia. Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible

GUÍA

2 Procedimiento para la investigación, análisis y diagnóstico de presencia de fuel en la arena de las playas

▶▶ 1. INTRODUCCIÓN

Esta guía responde a la necesidad de evaluar la situación medioambiental de las playas presumiblemente afectadas por un vertido.

Para ello se plantea una investigación exploratoria de su arena que confirme, en su caso, la existencia de niveles de contaminación de fuel. El dictamen sobre la calidad del agua deberá ser realizado por la entidad que habitualmente efectúa ese control.

A continuación se define el plan de muestreo diseñado para cada zona de actuación, las analíticas a ejecutar sobre cada muestra recogida, los procedimientos de análisis, y los criterios de valoración establecidos.

Los resultados y conclusiones obtenidas tras la realización de las exploraciones, serán válidas ÚNICAMENTE para el momento de su ejecución. Cualquier variación sustancial de la intensidad de la contaminación debido a nuevos aportes de hidrocarburo, obligará a una nueva investigación, análisis y diagnóstico.

Capa de fuel bajo la arena.



▶▶ 2. PLAN DE MUESTREO

El objetivo del diseño del muestreo es obtener información relativa a la existencia, concentración y distribución de hidrocarburos, con un grado de fiabilidad aceptable.

Para su definición se consideran tres parámetros: localización de los puntos de muestreo, número de puntos de muestreo, y número de muestras en cada punto de muestreo. A continuación se define cada uno de ellos, según las recomendaciones realizadas por el IHOBE (Ingurumen Jarduketarako Sozietate Publikoa - Sociedad Pública de Gestión Ambiental) en sus guías metodológicas para la investigación de la contaminación del suelo.



GUÍA 2

● **Localización de los puntos de muestreo**

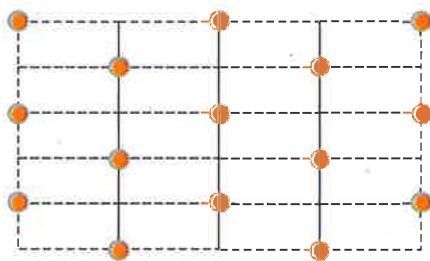
Bajo la base de una posible distribución homogénea de la contaminación en la que, a priori, no sea posible delimitar en el área en estudio subáreas bien diferenciadas, los puntos de muestreo se distribuirán según una malla regular. El tipo de muestreo será simple y sistemático, distribuyendo los puntos al tresbolillo con el objeto de situarlos en toda la extensión del área de estudio.

La figura 1 muestra la distribución mencionada.

En caso de que durante la inspección previa a las labores de muestreo, se registrasen claras evidencias de una variación espacial importante de la contaminación, la ubicación de los puntos de muestreo podría redefinirse, aplicándose en este caso una distribución sistemática tipo gradiente (ver figura 2).

Figura 1

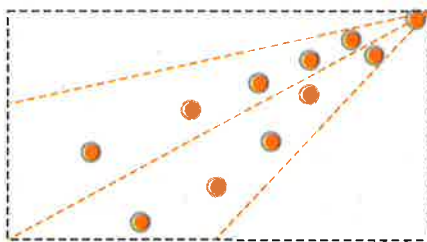
Distribución sistemática al tresbolillo



● Punto de muestreo

Figura 2

Distribución sistemática en gradiente



● Punto de muestreo

● **Número de puntos de muestreo**

El número de puntos de muestreo se calculará teniendo en cuenta que debe ser proporcional al área en estudio, de forma que la probabilidad de encontrar la contaminación no se vea afectada por esta variable.

Bajo el supuesto de que no es posible formular una hipótesis aceptable acerca del modelo de distribución de las sustancias contaminantes se recomienda definir los intervalos máximos de muestreo en unos X metros (dimensión longitudinal a la playa) e Y metros (dimensión transversal a la playa), tal y como aparece en la figura 3. De esta manera, se plantearían según la dimensión en longitud de la playa, es decir:

- Longitud playa > 1.000 m. $100 < X < 150$
- Longitud playa ≤ 1.000 m. $X \leq 100$
- $Y \leq 50$ cualquiera que sea el ancho de la playa y sin contar las zonas dunares.

No obstante, si durante los trabajos de campo, y sobre la base de las observaciones realizadas "in situ", se detectase una zona muy impactada por el vertido de fuel, el muestreo mínimo necesario para delimitar con precisión la contaminación sería el fijado por la fórmula del IHOBE: $n = 10 + 10A$.

Siendo "n" el número de puntos de muestreo, y "A" el área de la zona investigada en Ha.

● **Número de muestras**

Deberá tomarse un mínimo de una muestra por cada punto de muestreo.

▶▶ 3. METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE MUESTRAS

Con objeto de identificar posibles concentraciones de hidrocarburo sepultadas bajo la arena, deberá contemplarse en todo momento la recogida de una muestra en profundidad. Para ello, se realizarán calicatas hasta una profundidad máxima de 0,60 m.

En cada una de las perforaciones, se tomará una muestra en aquella zona en la que sea evidente un alto grado de contaminación, o donde exista variedad en las características del suelo. De esta manera se podrá establecer en profundidad el alcance de la contaminación, en caso de detectarse.

Es importante mencionar que no se contempla la toma de muestras superficiales, debido a que el carácter dinámico de los emplazamientos estudiados (variaciones en la marea, etc), implican un cambio continuo en las condiciones existentes en los niveles más superficiales. No se considera, por lo tanto, que el análisis de una muestra recogida en superficie pueda ser representativo de la situación existente, considerando que dicha zona está siendo objeto de una limpieza periódica y sistemática.

▶▶ 4. ANÁLISIS "IN SITU" DE LA CONTAMINACIÓN

Con objeto de optimizar el tiempo de ejecución de las investigaciones, se analizarán cuantitativamente los posibles contaminantes existentes (Hidrocarburos totales derivados del petróleo o TPH), mediante la aplicación de técnicas analíticas "in situ". Con ello, se podrá determinar la concentración y extensión de los compuestos existentes en las playas en el mismo momento de la realización de los trabajos de campo.

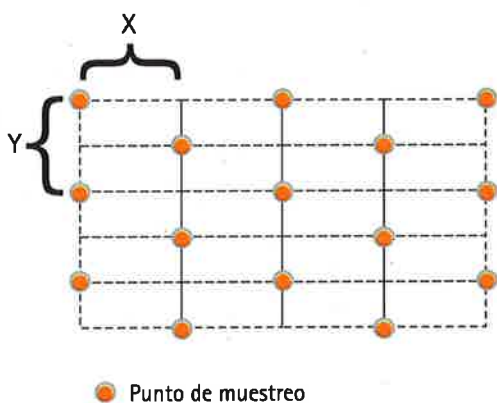
Para los análisis "in situ", se dispondrá de equipos que analicen cuantitativamente el contenido total de hidrocarburos. A modo orientativo el tiempo de análisis estimado para una muestra oscila entre 15 y 20 minutos.

Mediante el empleo del analizador de hidrocarburos se realizará una analítica del contenido total de TPH en cada punto de muestreo (o calicata perforada). De esta manera, se obtendrá una concentración que permita comparar el valor obtenido con

Cata en una playa con niveles de fuel enterrado.

Figura 3

Ubicación de los puntos de muestreo



GUÍA 2

los criterios de referencia, y se podrá emitir un dictamen preliminar sobre la situación del emplazamiento investigado.

▶▶ 5. CRITERIOS DE VALORACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Los criterios de valoración que a continuación detallamos se determinaron tras la comparación con playas no afectadas, y servirán para indicar que una playa se encuentra en situación similar a la anterior al vertido, o bien, si es necesario, para definir otro tipo de actuación.

Siendo:

Np - nivel pico de medida del contenido de hidrocarburos totales determinado por el analizador en cada cata en p.p.m.

Nm - nivel medio de todas las medidas realizadas en cada playa en p.p.m.

Si:

1)

Np < 500

Nm ≤ 300

La playa se encontrará en situación similar a la previa al vertido.

2)

300 < Nm < 5.000

Será necesario analizar las zonas donde se han producido los mayores niveles, desarrollando analítica de laboratorio y tomando decisiones por zonas.

3)

Nm ≥ 5.000

Se deberá estudiar una solución de limpieza en profundidad de la playa.

Se acompañan, al final de este documento, cuadros explicativos de estos criterios así como ficha a cubrir por cada playa.

▶▶ 6. MEDIOS MATERIALES

Se dispondrá de los siguientes equipos:

- Equipos ligeros para las mediciones de hidrocarburo "in situ": analizadores de Hidrocarburos, campo de medida 0-10.000 ppm.

La mayoría de analizadores de este tipo son más sensibles a hidrocarburos pesados que a ligeros, aunque permiten seleccionar el factor de respuesta en función del tipo de hidrocarburo que se sospecha que puede estar presente en la muestra (gasolina, gasóleo, fuel, fluido hidráulico, etc.). El propio analizador compensa el factor de respuesta a cada análisis, corrigiendo la concentración final en ppm.

Detalle de nivel de fuel bajo la arena. Obsérvese la escala.



Un factor decisivo del método químico de determinación seleccionada es la eficacia en la extracción de la muestra. Se recomienda que el sistema utilizado no contenga disolventes clorados ni fluorados y que, además, la eficacia de la extracción no se vea afectada por la presencia de humedad en la muestra analizada hasta en un 15%. Se recomienda que el sistema analítico utilizado esté aprobado por organismos con competencia en materia medioambiental

● Ensayos de Laboratorio

Se dispondrá de un laboratorio equipado con los equipos necesarios, donde se realizarán todas las analíticas que se estimen necesarias para la comprobación de los resultados obtenidos en campo.

Entre los equipos habrá un cromatógrafo en el que se analizarán aquellas muestras con un grado de contaminación elevado o que presenten incertidumbre tras el análisis "in situ". En el laboratorio se determinará, como mínimo, el contenido en THPs con cadenas comprendidas entre C_6 y C_{40} . Adicionalmente se podrá determinar el contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), aromáticos simples y de metales.

▶▶ 7. PLAZO DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

Sobre la base de la metodología expuesta para la toma de muestras (perforación de calcatas), y para el análisis "in situ" de la contaminación, se considera que cada equipo de trabajo ejecutará diariamente un total de 20 muestreos, lo que equivale a una playa que abarque una superficie aproximada de unas 2 Ha.

Una vez realizados los trabajos de campo se emitirá, dentro de las primeras 24 horas, un dictamen provisional de los resultados obtenidos. En un plazo de 2 días se elaborará el informe final correspondiente al emplazamiento investigado.

En el caso que se realizasen ensayos de laboratorio, el plazo de entrega del informe se determinará en función del número de analíticas a realizar, no superándose en ningún caso el plazo de 7 días.



Ejemplo de analizador:

Consistirá en un sistema de análisis de hidrocarburos "in situ" que abarque un amplio espectro de tipos de hidrocarburos hasta una concentración máxima de 10.000 ppm. El analizador consiste básicamente en un fotómetro, es decir, es un analizador óptico que determina el grado de turbidez de la solución preparada, y su modo de empleo es muy sencillo (calibración, preparación de la muestra y medición).

GUÍA

3

Procedimiento para la limpieza de zonas rocosas e infraestructuras mediante lavado con agua a presión

▶▶ 1. ANTECEDENTES

1.1 Consideraciones generales

En las rocas el fuel se adhiere a su superficie, motivo por el que la limpieza manual debe ser complementada por métodos especializados como el empleo de chorro de agua a presión, estableciendo una metodología que limite el impacto de la limpieza.

Como medida preliminar se llevará a cabo la caracterización de las zonas rocosas e infraestructuras contaminadas por fuel con una clasificación por unidades fisiográficas, en función de su morfología, litología, interés ecológico, parámetros físicos ambientales y características de la contaminación para definir la prioridad en el tiempo y el grado de limpieza.

Detalle de hidrolimpieza.

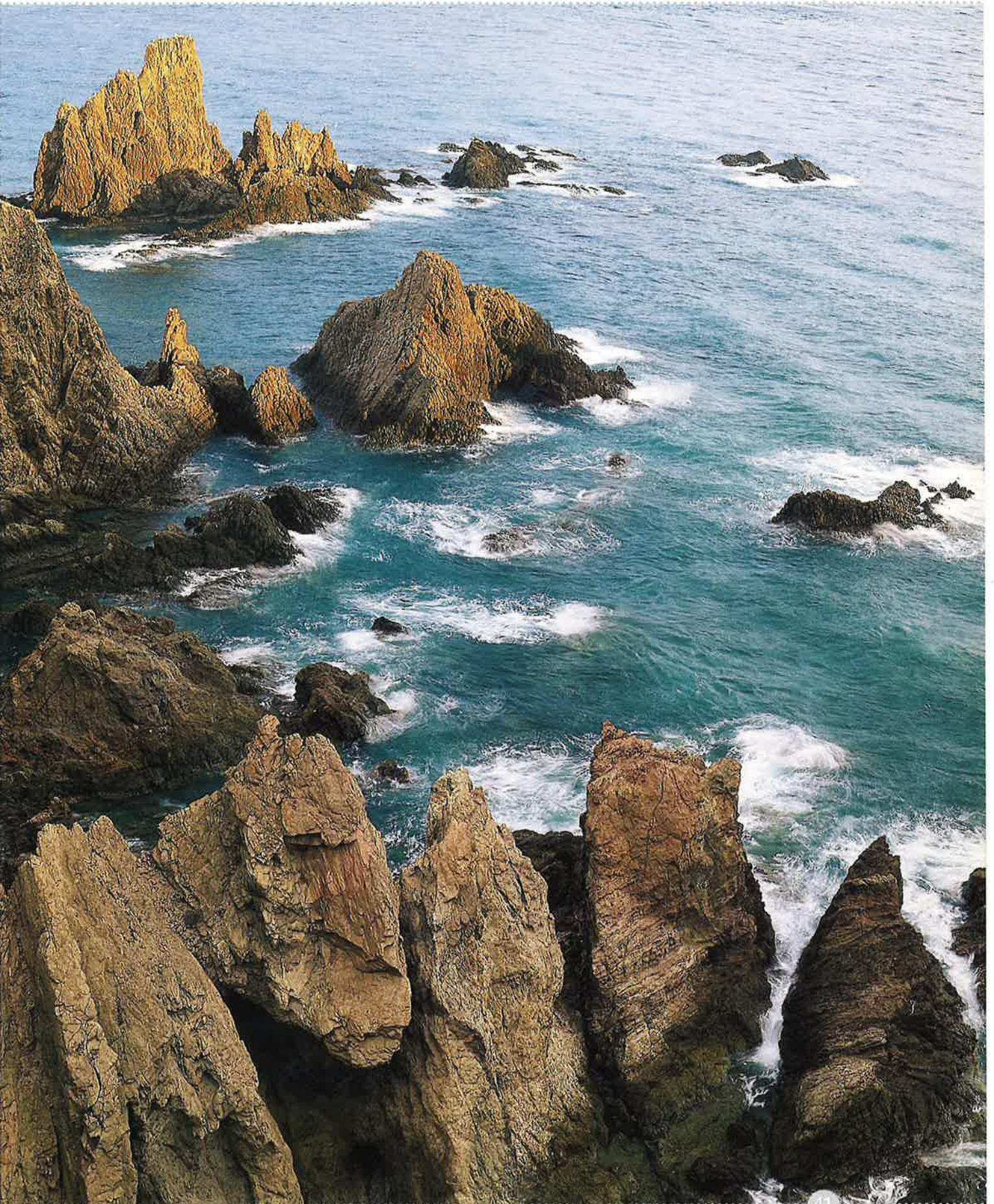


1.2 Objetivos ambientales durante los procedimientos de limpieza

Como objetivos se establecen:

- Detener o no iniciar la limpieza cuando el impacto medioambiental producido por estas labores exceda el daño causado por la no retirada total del fuel depositado.
- Suspender de manera temporal los trabajos de limpieza o diferirlos en el tiempo cuando la eficacia autoregenerativa del medio ambiente sea suficiente para lograr el objetivo de su propia recuperación. Se hará un seguimiento periódico de estas zonas para decidir si es necesario o no recomenzar las tareas de limpieza.
- Prevenir el impacto medioambiental secundario durante las actividades de

PROCEDIMIENTO PARA LA LIMPIEZA DE ZONAS ROCOSAS E
INFRAESTRUCTURAS MEDIANTE LAVADO CON AGUA A PRESIÓN



limpieza como:

- Contaminación de zonas limpias.
- Construcción o modificación de la accesibilidad a la costa que pueda causar impactos medio ambientales permanentes.
- Destrucción de entornos naturales por contaminación o manipulación de sus sedimentos o de su vegetación.

1.3 Metodologías

En función de la localización, afección y características de la zona afectada se recomienda:

- 1ª En parte de la costa, el método más apropiado para la protección del medio ambiente es la no actuación, debido a:
 - Eficiencia de la limpieza del mar.
 - Evitar impactos ambientales negativos por la ejecución de nuevos accesos.
 - No poner en peligro a las personas en zonas complicadas.
 - Prevenir impactos y contaminación secundaria.
 - Baja toxicidad del fuel.
- 2ª En zonas sensibles para la protección de valores biológicos y socioeconómicos se valorará la posibilidad de detener periódicamente la actuación siempre que no suponga una pérdida permanente de valores ecológicos y socioeconómicos.
- 3ª Se recomienda la actuación en zonas donde la limpieza permita una regeneración más rápida del ecosistema y donde los valores socio-económicos así lo exijan.

En estas zonas donde deba actuarse, la primera y mejor opción es la operación manual hasta que sus rendimientos sean mínimos en relación con el número de



personas y medios utilizados y se haga preciso continuar la limpieza con otro procedimiento más adecuado para evitar la pérdida permanente de valores ecológicos o socioeconómicos, mejorando la eficacia de la limpieza.

1.4 Horizonte temporal de limpieza

En la mayor parte de los entornos rocosos, la operación manual de retirada de fuel está limitada por la viscosidad y adherencia de hidrocarburo que impregna las rocas impidiendo su retirada. Por ello es necesario buscar otros métodos de limpieza complementarios que se centrarán en el espacio comprendido entre la media marea y la zona supramareal donde el oleaje y salpicaduras han dejado manchas de fuel, retrasando los procesos de recuperación ambiental con una importante presencia paisajística.

Por ello, una primera fase, se llevarán a cabo las labores de limpieza en las zonas en que, por motivos de urgencia temporal, sean de interés ecológico o de marisqueo/ acuicultura y turístico, donde es preciso desarrollarlas lo más pronto posible.

Seguidamente se limpiarán otras zonas donde será preciso recurrir a estudios específicos caso por caso.

Amplias zonas quedarán supeditadas a la limpieza y regeneración natural donde el horizonte es difícil de prever.

▶▶ 2. PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO DE LIMPIEZA CON AGUA A PRESIÓN

2.1 Principios de actuación

Las operaciones de limpieza serán llevadas a cabo con una gran sensibilidad hacia el medio ambiente, ya dañado por la contaminación.

Se contemplan tres metodologías en el lavado de agua a presión dependiendo de la presencia o no de seres vivos en las rocas y de la litología.



1. Operario realizando labores de hidrolimpieza.

2. Detalle del chorro.

3. Hidrolimpieza en zona granítica.

- a) Agua de mar a temperatura ambiente en aquellas rocas en que se detecte la presencia de seres vivos.
- b) Agua caliente en aquellas rocas donde no estén asentados seres vivos y en construcciones artificiales como paseos marítimos, diques, espigones, varaderos, muelles o donde la estética de la zona sea muy relevante.
- c) En cualquiera de los casos anteriores, el agua se puede combinar con arena en aquellos bordes rocosos de litología carbonatada, dada su mayor porosidad, con las restricciones adecuadas en función del tipo de roca.

Sea con agua a temperatura ambiente o caliente, la presión no superará los 150 bares en la máquina para evitar el desprendimiento, arranque o desplazamiento de los seres vivos y la contaminación del entorno no contaminado.

2.2 Zonas de aplicación

Este procedimiento debe aplicarse en zonas con sustratos difícilmente alterables. En los entornos rocosos y las zonas de obra civil, esta técnica es de aplicación preferentemente en los casos en que no pueden dejarse a la recuperación natural por diferentes motivos:

- Rocas que delimitan y ornamentan las playas.
 - Infraestructuras, paseos marítimos y accesos a la costa.
 - Playas o calas de cantos rodados cuya limpieza es importante por motivos de marisqueo, acuicultura o turismo (ver guía N° 6).

2.3 Parámetros de trabajo

Se utilizarán máquinas de limpieza que puedan lograr:

- Presión en la máquina de 150 bares con una presión en la manga de 60-70 bares.
- Caudal medio de 14 a 16 litros por minuto.
- La temperatura del agua a la salida de la manga debe poder situarse de 40° a 50°.

2.4 Preparación de la zona de trabajo

Parece muy importante en primer lugar acondicionar debidamente la zona de trabajo, para lo que se elaborará una propuesta de actuación

Trabajador con su equipo de protección correspondiente -EPI- (mascarilla, gafas, guantes, etc.)



que se adapte a sus particularidades físicas y morfológicas. Esta primera fase permitirá:

- proteger el medio ambiente en el entorno de la zona y evitar todos los traslados de contaminación.
- delimitar la zona de trabajo y garantizar la seguridad del personal.
- posicionar los equipos necesarios que permitan obtener el mejor rendimiento y eviten los deterioros de los materiales sometidos a las duras condiciones de la atmósfera marina (agua salada, arena, viento etc.).
- preparar la contención y la recuperación de los residuos líquidos contaminados producidos durante la actuación de limpieza.

La preparación de la zona de trabajo se hará cada día en todos los lugares expuestos a la marea. Se trata de un trabajo lento y repetitivo pero de gran importancia para un resultado eficiente.

2.5 Técnicas de descontaminación

Como se ha indicado anteriormente, la primera fase consiste en la preparación de la zona para evitar la pérdida del efluente de la limpieza acompañada de restos de hidrocarburos.

- Es necesario retirar la arena limpia de las rocas antes de proceder a su limpieza mediante agua a presión. En el caso de que zonas rocosas impregnadas de fuel queden cubiertas de arena a causa del cambio del perfil de la playa, previamente al inicio de los trabajos de limpieza se debe descubrir la superficie rocosa impregnada de fuel.
- A los pies de las rocas u obras artificiales que deban limpiarse se hará, si la zona lo permite, una pequeña piscina de recuperación que permita la decantación del petróleo. En su fondo se depositará una manta de geotextil, material textil plano, permeable, de apreciada deformabilidad, formado por fibras poliméricas termoplásticas. Entre las funciones hidráulicas del geotextil están la de filtración y la de drenaje. Entre las funciones mecánicas destacan la de separación, refuerzo y protección.
- Los geotextiles también serán utilizados para proteger las rocas y otros substratos limpios del entorno de los

Impacto de
placas de fuel
en zona
acantilada.



residuos proyectados con la presión y el viento.

- Los residuos deben ser bombeados a un depósito.
- Una barrera de absorbentes de polipropileno podrá delimitar la zona, impidiendo la contaminación del entorno.

Una vez concluida la organización de la zona de trabajo y de los sistemas de recuperación, la limpieza podrá comenzar.

2.6 Condiciones de aplicación del agua a presión

La aplicación del agua se hará según las condiciones existentes en las rocas:

• Zonas sin organismos vivos

El operador debe dirigir siempre el chorro de presión de agua caliente desde los puntos altos a los bajos y desde la tierra hacia el mar. Los ángulos de ataque no deben ser perpendiculares a la roca sino orientados entre 30 y 45 grados.

El chorro será ancho a la salida, tipo peine, y se aplicará a 10-15 cm. de la superficie a limpiar. Distancias menores, entre 5 y 8 cm., pueden utilizarse cuando existan espesores importantes de fuel. El avance del chorro debe ser metódico (de arriba abajo, de derecha a izquierda y de atrás hacia delante).

Al finalizar un sector de limpieza, y antes de pasar al siguiente, se realizará un baldeo rápido a 30-50 cm. de la roca para conducir los materiales desprendidos de las formaciones rocosas hacia el área de recogida.

• Zonas con organismos vivos

La dirección de la aplicación del agua a temperatura ambiente debe ser perpendicular a la superficie de la roca. Hay que evitar la aplicación del agua en dirección oblicua ya que podría provocar desprendimientos y aumentar la mortandad de los organismos fijados.

2.7 Actuación en espacios de especial sensibilidad ecológica

Aún dentro de una situación de emergencia como un vertido de petróleo, hay que tener siempre en cuenta que existen espacios naturales litorales en los que concurren especiales valores naturales, y unas particulares exigencias legales en cuanto a su protección y gestión. En estos espacios hay que primar los procesos naturales de regeneración ambiental frente a

Diferencias entre roca hidrolimpiada e impregnada de fuel y disposición de mantas absorbentes para proteger zonas limpias y recoger el efluente.



otros de carácter más agresivo, aunque en principio pudiesen parecer más rápidos o de mayor eficacia inicial. Además, hay que evitar la introducción de sustancias ajenas al medio ambiente local, en particular en la medida en que sean persistentes o que presenten riesgos de causar efectos ambientales negativos.

Por otra parte, al tiempo que se procede a la limpieza, hay que procurar retirar del medio natural la mayor cantidad posible del fuel y reducir todo lo que se pueda su afluencia al mar, incluso la que se produciría en los procesos naturales de limpieza.

En estos espacios, se recomienda la aplicación de hidrolimpieza mediante el uso de agua de mar a presión y a temperatura ambiente. Para recoger los restos de hidrocarburos arrancados de las rocas, se utilizan mantas absorbentes y barreras flotantes, igualmente absorbentes, en la zona de caída al mar del flujo de agua.

● Condiciones de aplicación

En las zonas rocosas de espacios de alto valor ecológico, cuando se plantee el uso de esta técnica, se recomienda una estricta observancia de las recomendaciones siguientes:

- En las rocas en las que se encuentren poblaciones de cirrípedos, lapas, bigarros, mejillón, o de especies intermareales similares, con presencia dispersa, hay que evitar su arranque, por lo que se recomienda usar una boquilla de abanico plano de 25 grados, a distancia nunca inferior a 30 cm. de la roca. Estas mismas condiciones de aplicación sirven para aquellas zonas en las que haya poblaciones de algas vivas.
- En la zona supramareal en la que haya presencia de líquenes, se debe trabajar también con la boquilla de abanico plano de 25 grados, a distancia nunca inferior a 30 cm. de la roca.
- Como se indicó previamente, en las rocas con organismos vivos, la dirección de aplicación del agua debe ser perpendicular a la superficie de la roca. Hay que evitar la aplicación del agua en dirección oblicua, ya que aumenta el desprendimiento y la mortalidad de individuos.

En todos los casos hay que procurar recoger el máximo del fuel desprendido. Para lo que:

- a. Se procurará enviar los fluidos de limpieza a una charca o zona de remanso, donde se irán colocando mantas absorbentes que se retirarán a medida que vayan captando el fuel. En algunos casos también será conveniente colocar barreras absorbentes para contener el fuel.

Dispositivo de hidrolimpieza. Obsérvense las medidas de seguridad y el uso de mantas absorbentes.



b. Se instalarán, también, mantas absorbentes en todas las grietas y canales de concentración de escorrentía y se cambiarán, periódicamente, durante la jornada de trabajo.

c. Se colocará una barrera flotante absorbente en el mar, en las zonas de desembocadura de los canales de escorrentía. Dentro del perímetro de contención de la barrera absorbente se situarán también las mantas absorbentes adecuadas.

2.8 Evolución de los trabajos sobre el terreno

Antes de iniciar la limpieza de una zona concreta, se establecerán los períodos de trabajo en función de la evolución de la marea. Será importante el aprovechamiento del tiempo en el que no se pueda actuar sobre las rocas para mover los equipos y materiales, así como para realizar las labores de mantenimiento precisas.

En el caso de realizar aspiración, se escogerán los puntos de bombeo en función de las pendientes naturales de las rocas. Estos deben estar lo más cerca posible del punto de rociado de la lanza. Cuando no existan puntos naturales para la recogida, se construirán pequeñas barreras para retener la mezcla fuel-agua generada.

Se dispondrán las lanzas de limpieza sobre el terreno de forma que la mezcla fuel-agua fluya hacia los puntos de recogida o de depósito.

Al mismo tiempo que se realiza el rociado sobre las rocas, se realizará la operación de recogida del residuo, de manera que no se acumule en estos puntos.

Los equipos se avanzarán conjuntamente a medida que el nivel de las aguas desciende con la marea, coordinando los desplazamientos con objeto de evitar que

los hidrocarburos sean reenviados al mar.

Igualmente, cuando la marea comience a ascender, se retrocederá con los equipos tierra adentro, dejando las zonas de recuperación limpias.

En la disposición de los equipos se tendrá especial cuidado en evitar la recontaminación de las zonas limpias.

2.9 Medios

- Limpiadoras de presión y de agua caliente en algunas zonas.
- Filtros especiales para poder utilizar agua salada.
- Mangueras.
- Bombas/grupos electrógenos.
- Tanques/depositos.
- Geotextil/barreras absorbentes/barreras de

Disposición de material de hidrolimpieza.



contención.

- Cuba de agua para saneamiento.
- Depósito de combustible.
- Camión pluma para movimiento de equipos.
- Casetas de almacén, aseos y vestuarios.
- Zona de descontaminación prevista en este procedimiento.

2.10 Personal necesario

Se dimensionará un equipo de 10 personas para 3/4 máquinas hidrolimpiadoras. Será preciso contar con personal de mantenimiento de los equipos.

2.11 Lugares donde no es apropiada la hidrolimpieza

Hay ciertas condiciones en las que no es aconsejable la aplicación de este método de limpieza. Como las de aquellos lugares en los que:

- No hay posibilidad de recógida de los fluidos de limpieza (zonas de mar abierto y batido en las que no se puede colocar una barrera de contención eficaz)
- La orografía no garantiza las condiciones de seguridad de los operarios.
- Hay concentraciones importantes de fauna vagil (no sésil), como anfípodos, isópodos, poliquetos, etc.
- Hay concentraciones importantes de fauna sedentaria (lapas, bígaros, y otras)
- Hay concentraciones importantes de algas, y fauna sésil (esponjas, anémonas, briozoos, etc).

En estos casos en los que la aplicación del agua a presión puede eliminar estas comunidades de organismos vivos, es conveniente afrontar otras técnicas que potencialmente representen una oportunidad de supervivencia para las especies afectadas.

En las labores de hidrolimpieza en zonas acantiladas se deben extremar las medidas de seguridad.



▶▶ 3. SEGURIDAD Y SALUD

3.1 Seguridad colectiva

● Objetivos y principios

Los principales riesgos que pueden aparecer en los trabajos que nos ocupan son las caídas de personal y las caídas de objetos, fundamentalmente en las operaciones de elevación y carga/descarga, las quemaduras y problemas auditivos debidos a la presencia de motores térmicos, heridas por

GUÍA 3

golpe, corte o causadas por los medios de amarre, la generación de polvo y, en todo caso, el riesgo procedente de la toxicidad del contaminante.

● **Prevención de accidentes**

Respecto a la prevención de accidentes se consideran esenciales las siguientes premisas básicas:

- Cumplimiento de la legislación vigente en materia de prevención de riesgos.
- Respetar las directrices de organización y señalización de la obra.
- Garantizar la protección individual, equipando a todos los intervinientes del material de protección personal (ver "Protección individual") y adoptando las acciones pertinentes para prevenir los riesgos, para lo cual se deberá realizar previamente una identificación detallada de los mismos.
- Garantizar una correcta gestión de personal para mantener la eficacia de los equipos humanos limitando los riesgos (turnos, tiempos de reposo, cobertura de necesidades fisiológicas sobre el terreno, necesidades básicas...).
- Establecer un plan de comunicación y evacuación ágil en caso de accidente grave.

● **Aspectos a considerar**

- Identificación de personal con cualificación sanitaria básica y señalización de zonas de asistencia sanitaria elemental.
- Prohibición de fumar (y de llevar mecheros, cerillas, etc.).
- Tener en cuenta la influencia de las mareas, particularmente en los sitios de difícil acceso.
- En las zonas de riesgo deberá primar el trabajo en equipo (nunca en solitario).
- En el resto de las zonas, en caso de necesidad de actuación individual, permanecer siempre en contacto con el resto del equipo (teléfono, radio, etc.).
- En cualquier caso, si no se cumplen las condiciones de seguridad necesarias, se aplazará o suspenderá la intervención hasta que las mismas sean satisfechas.

Antes de la hidrolimpieza en una zona urbana.



3.2 Protección individual

● **Equipos de protección individual (EPI's)**

La protección individual pasa por la utilización de la indumentaria de trabajo adaptada al caso, la cual se deberá componer principalmente de:

- Ropa interior de algodón y vestimentas en fibras naturales adecuada a las condiciones ambientales existentes.
- Impermeable clásico, tipo CE categoría I, habitualmente denominado conjunto para lluvia. En ciertos modelos los puntos débiles recaen en la consistencia y sellado de las

costuras. Su duración se estima en una media de cinco días de trabajo.

- Traje ligero de protección, tipo CE categoría III, clase 6 – 7. Normalmente sobre el conjunto de lluvia. De un solo uso en cada jornada o periodo de trabajo.
- Botas antiderrapantes, con protección en suela y puntera, resistentes a los hidrocarburos.
- Guantes largos resistentes a los hidrocarburos. Se recomiendan guantes interiores de algodón.
- Durante la limpieza con agua a presión deberán emplearse máscaras de protección respiratoria tipo FFP2SL, así como gafas para protección contra salpicaduras. Cuando se utilice agua caliente, se recomienda el empleo de máscaras tipo visera para protección ocular ya que provocan menos problemas de condensación.
- Se recomienda proteger la piel con pomadas tipo Prodem (CARAL) o, en su caso, cubrir las zonas expuestas de la cara con cremas a base de glicerina o vaselina, de manera que se facilite la limpieza en caso de contacto accidental.
- El casco se empleará cuando exista riesgo de caída de objetos o en la proximidad de acantilados.
- Se recomienda igualmente sellar las muñecas y los tobillos (unión de traje con botas y guantes) con cinta adhesiva o material elástico cuidando de no hacerlo con sobrepresión.
- Deberá tenerse en cuenta una adaptación de la vestimenta a la temperatura, así como la bebida regular para evitar la deshidratación.
- Al final de cada sesión de trabajo, se procederá a la descontaminación (ver "Descontaminación del personal").

● Protección sanitaria de las personas

Como en la mayoría de los hidrocarburos, el fuel pesado presenta riesgos contra los cuales es necesaria la correspondiente precaución y protección.

El fuel pesado es un compuesto irritante para la piel y las mucosas (principalmente ojos).

Contiene compuestos como, por ejemplo, hidrocarburos policíclicos aromáticos, para los cuales, en ciertas condiciones de exposición (contacto cutáneo y muy prolongado en el tiempo) existe un riesgo cancerígeno.

Por lo tanto en todas las operaciones de limpieza, los intervinientes deberán observar estrictamente las recomendaciones de protección sanitaria siguientes:

● Contraindicaciones

Las mujeres embarazadas no podrán participar en las operacio-

Después de la hidrolimpieza en una zona urbana.



GUÍA 3

1. Disposición de compresores y depósitos de agua.

2. Otra imagen de la hidrolimpieza con uso de mantas absorbentes.

nes de limpieza.

Las personas que presenten afecciones respiratorias, cardíacas, alérgicas, cutáneas, lumbálgicas o de intolerancia a los olores no podrán participar en las operaciones de limpieza.

● **Principio general**

No autorizar a participación en las operaciones de limpieza a personas que no presenten buena condición física. Estas personas deberán ser informadas de las precauciones a tomar, equipadas del material adecuado y ser contratadas para las operaciones de limpieza por profesionales, siendo necesario un registro de sus datos previo al comienzo de los trabajos.

● **Recomendaciones en caso de contacto dérmico accidental con el fuel:**

No emplear disolventes (White-Spirit), gasolina o productos abrasivos. Eliminar el máximo de producto con un papel absorbente (periódico), disolver el fuel con productos grasos (vaselina, aceite de uso culinario) y posteriormente limpiar la piel con agua jabonosa.

En el caso de contacto accidental de importancia con el fuel consultar a un médico. Proceder de igual manera cuando se presentan síntomas como dolores de cabeza y alteraciones digestivas.

3.3 Descontaminación del personal

Durante las labores de limpieza de contaminantes por hidrocarburos la indumentaria del personal que intervenga se encontrará rápidamente impregnada por el hidrocarburo. Antes de abandonar el área de trabajo, el personal debe ser "descontaminado" para:

- Evitar la dispersión de contaminante sobre áreas no afectadas.



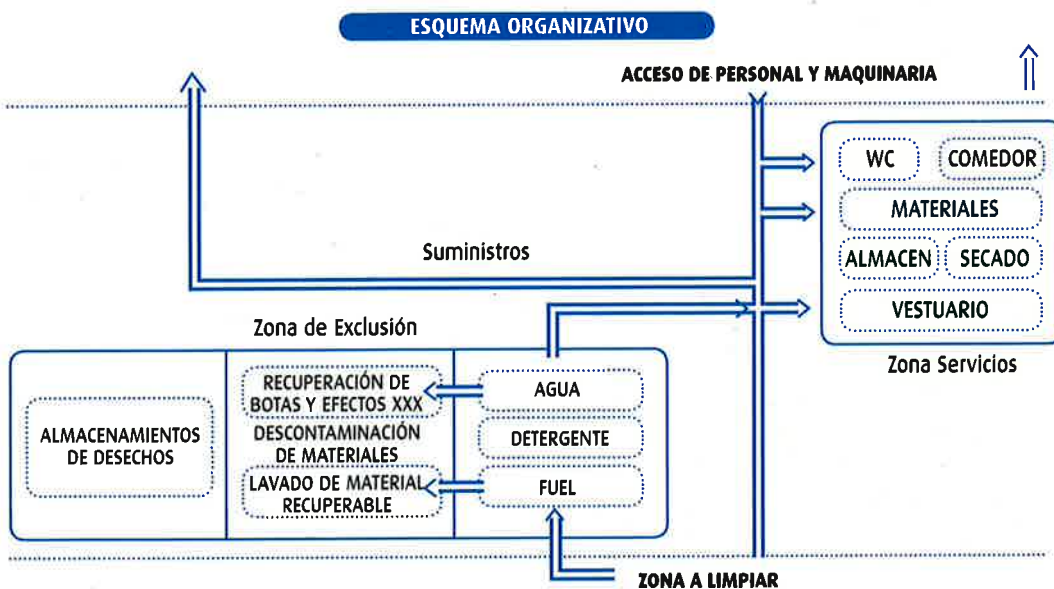
- Asegurar un mínimo de confort tras cada sesión de trabajo (paradas para comer, etc.).
 - Mantener la eficacia de los trabajadores y prolongar en la medida de lo posible la vida de los equipos y materiales.
- Los trabajadores deben seguir una cadena de limpieza que va de "sucio" a "limpio", sobre una plataforma estanca en la cual se puedan recuperar los efluentes del lavado.

• Material de base

- Una plataforma plana con poca pendiente (> 30m²), lámina de plástico cubriendo la plataforma y señalización para balizar el área de descontaminación.
- Un recipiente de 10 a 15 l. con gasoil o producto para el lavado y trapos, cepillos, etc. para eliminar la mayor parte de producto.
- Una segunda serie de recipientes alternando agua de enjuagues y detergentes para eliminar los restos de gasoil.
- Rollos de papel absorbente (formato industrial) para una limpieza final.
- 2 bidones de 200 l. de tapa desmontable a modo de papelera para residuos sólidos.

El material anexo estará constituido por una caseta de obra para almacenar el material de protección individual, vestuario, sanitarios y, en su caso, comedor. Toda entrada en la zona de limpieza deberá respetar las normas establecidas referentes a equipos de protección individual. Toda salida del área de trabajo deberá pasar por la zona de descontaminación.

La eficacia en el proceso de descontaminación del personal se alcanza cuando se realiza en serie para todo el equipo de trabajo al mismo tiempo, evitando en la medida de lo posible el tratamiento ocasional.



GUÍA

4

Procedimiento para la limpieza de playas con contaminación en capas profundas

▶▶ 1. CONSIDERACIONES GENERALES

Los arenales están sometidos a continuas modificaciones del perfil transversal debido a las condiciones hidrodinámicas y eólicas cambiantes que provocan movimientos de importantes volúmenes de arena. El fuel que se deposita sobre la superficie de la playa se mezcla con la arena, aumentando su densidad, pudiendo entrar en el sistema sedimentario de la playa si no se retira de forma inmediata.

▶▶ 2. OBJETIVOS AMBIENTALES DURANTE LOS PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA

En esta guía se establece un procedimiento de limpieza de las playas en que se haya detectado fuel en capas profundas, que permita su retirada con las precauciones medioambientales oportunas. Además, se definen los mecanismos básicos para el seguimiento de este proceso.

Los medios y las técnicas de limpieza deberán ser ajustados al plazo que se establezca, a la sensibilidad ambiental de cada entorno, y al principio de eficiencia en el uso de los recursos.

Hay que considerar que la retirada de la contaminación no puede generar daños superiores a su permanencia. La posibilidad de generación de impactos ambientales y de contaminación secundaria, derivados de los trabajos de limpieza, deberá ser controlada para garantizar este punto.

Retirada manual de capas continuas de fuel.





GUÍA **4** ▶▶ **3. PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA**

3.1 Principios de actuación

Como norma general la actuación será:

- a) Prioritaria en:
 - Playas de interés turístico.
 - Playas en las que se pueda actuar con mayor eficacia y rapidez, en zonas afectadas de pequeña extensión, o en aquellas en que se sospeche que no existe gran contaminación.
- b) Secundaria en:
 - Zonas en que el fuel se encuentra enterrado a gran profundidad (superior a 1 m.) y sea previsiblemente difícil el acceso por parte de la población a estas capas durante el periodo estival.
 - Zonas en que existe una muy baja ocupación turística, y una contaminación difícil de tratar.

En cualquier caso, la metodología seleccionada se debería compaginar con los siguientes principios:

- Prevención de la contaminación del agua de mar.
- Prevención de la contaminación de arena limpia.
- Prevención de la generación de residuos por ineficiencia del manejo de la pala.
- Prevención de la contaminación e impacto ambiental secundarios.
- Protección de los hábitat de mayor interés natural, tales como sistemas dunares, lagos, estuarios, marjales y, en general, zonas húmedas próximas o anexas a las playas objeto de tareas de limpieza.
- Protección de valores geológicos, geomorfológicos, edafológicos y zonas de especial valor paisajístico.



3.2 Zonas de aplicación

Cada zona de actuación presenta una serie de características que inciden en la elección de la metodología óptima de limpieza; para realizar la planificación, se considerarán los elementos condicionantes de la actuación:

• Características ambientales

- Accesibilidad de la maquinaria.
- Valores estético-paisajísticos asociados a la singularidad del medio físico, o a la estrecha relación que mantiene con las poblaciones cercanas.
- Presencia de comunidades/poblaciones vegetales y animales de importancia ecológica.
- Presencia de valores singulares geológicos, geomorfológicos, edafológicos y áreas de especial valor paisajístico.
- Existencia de Figuras de Protección de Espacios Naturales en el entorno próximo al ámbito de la limpieza.
- Existencia de usos del litoral para baño, pesca, marisqueo, etc.
- Características de la playa (tamaño del grano, extensión, etc...).
- Otra información que resulte de interés.

• Características de la contaminación

- Número de capas contaminadas.
- Profundidad media de la contaminación.
- Anchura media de cada capa contaminada.
- Extensión de las capas contaminadas.
- Localización según su relación con la marea.
 - Zona supramareal.
 - Zona intermareal media-superior.
 - Zona intermareal inferior-inframareal.
- Estado del fúel.



1. Bolas de fúel en el intermareal inferior que aflora por cambio de perfil de las playas.

2. Retirada de bolas de fúel aprovechando la marea baja.

- Fuel fresco o intemperizado.
- Placas continuas/galletas dispersas.
- Bolas de fuel.

3.3 Técnica de descontaminación

Se definen dos procesos básicos de limpieza: limpieza no activa y limpieza activa.

• Limpieza no activa

La limpieza no activa es el conjunto de procesos naturales o de aceleración de la degradación natural: en este grupo se consideran la biorremediación y los procesos de atenuación natural que, si bien siempre actúan de manera complementaria a la limpieza activa, pueden considerarse en solitario en ciertas circunstancias.

Se trata de una técnica de limpieza no invasiva, aunque dados los objetivos de limpieza, y el grado de utilización de las playas en la costa española, no cabe la posibilidad de considerarlo más que como proceso de limpieza auxiliar.

En estos casos, la limpieza se deja a los microorganismos, acelerando artificialmente su actividad (ver guía N° 7), o bien dejándolos actuar sin aditivos. La eficacia de estos procedimientos de recuperación depende, en gran medida, de la superficie de exposición que presenten, por lo que cualquier proceso de eliminación de los fragmentos, y capas gruesas puede acelerar varios años la atenuación natural.

Asimismo, podrá valorarse la posibilidad del arado del terreno para poner en superficie los hidrocarburos enterrados, facilitando la eventual recogida manual de los fragmentos, o la exposición a la luz y a una atmósfera oxidante.

En todo caso, estos procesos sólo deberán llevarse a cabo en aquellas zonas en que se den algunas de las siguientes circunstancias.

- Playas poco frecuentadas.
- Limitación de acceso a maquinaria difícil de solucionar sin perjuicio para el medio ambiente.
- Que las actividades relacionadas directa o indirectamente con la limpieza, causen previsiblemente mayor impacto sobre comunidades de interés (por ejemplo vegetación dunar) que el impacto de la permanencia de la contaminación en la arena (daños a comunidades infaunales intermareales).

La aplicación de estas metodologías sólo será posible si se lleva a cabo un seguimiento periódico y estricto del proceso de degradación del fuel, que permita documentar la experiencia y las condiciones en que se realiza, a la vez que se observe la evolución, tanto del propio proceso de limpieza, como de los valores naturales que deben ser preservados.

Apertura de trincheras para localización de capas discontinuas.



● Limpieza activa

Existen dos tipos de limpieza activa:

- Limpieza con medios mecánicos (uso de maquinaria con palas, arados, y tamices de diferente luz). La utilización de otros sistemas de separación de partículas por su densidad y/o tamaño de partícula deberían ser ensayados y evaluados.
- Limpieza manual, con palas y tamices.

Es posible la utilización combinada de medios mecánicos y manuales. Cualquiera de estas opciones es válida, aunque deben establecerse algunas restricciones para su utilización.

Los medios de limpieza deberán ajustarse a la casuística con que se presenta el fuel, aunque la metodología que se emplee podrá ser modificada por la necesidad de acelerar los trabajos, las sensibilidades ambientales detectadas, etc.

A continuación se establecen los casos generales y, para cada uno de ellos, la propuesta de metodología a aplicar:

CASO Nº 1

LIMPIEZA CON AGUA CALIENTE

Características de la contaminación

Casos en que se desee recuperar la fracción de arena mezclada con fuel. Puede ser interesante en los siguientes casos:

- Si el residuo recogido por las tamizadoras mecánicas tiene demasiada arena y es necesario recuperar esta fracción para la playa (la separación será factible con partículas de sedimentos de tamaño grande).
- Arena muy mezclada con fuel en partículas de tamaño milimétrico en una o varias capas superficiales.

Sustrato

Arena suelta (no debe aplicarse este método en sistemas dunares o en áreas de estuario, debiendo ser estudiadas específicamente antes de proceder a su limpieza).

Delimitación

Deberá balizarse el emplazamiento durante los trabajos, con el fin de evitar el acceso de personal no autorizado, ordenar el tránsito y señalar el estado de avance de los trabajos.

Se señalarán las zonas sobre las que ya se haya trabajado.

Cribado manual de arenas con residuos atomizados.



La zona en la que se mantengan los materiales residuales previos al tratamiento, deberán ser delimitada, y la zona en que se depositen los materiales una vez limpios, será planificada para asegurar la correcta distribución sobre la playa. La zona de vertido de materiales limpios será la zona de influencia de las mareas.

Metodología de limpieza preferente

Se utilizarán palas excavadoras que permitan la recogida directa de los sedimentos contaminados, y el vertido en cuba con agua de mar caliente y preferentemente saturada en sal.

Los materiales se agitarán por medio de una bomba soplante, cuya potencia se regulará manualmente. Se retirará el hidrocarburo que ascienda con herramientas manuales.

Previo al vertido, deberá valorarse el estado de limpieza del sedimento recuperado. En caso de que se aprecien partículas de fuel entre los sedimentos, se volverá a evaluar la eficiencia del proceso, y se decidirá sobre la conveniencia de continuar con él.

Precauciones medioambientales

Deberán ponerse en todo caso los medios necesarios para:

- Prevenir la contaminación del agua.
- Prevenir la contaminación de arena limpia.
- Prevención de la generación de residuos por ineficiencia del manejo de la pala.
- Prevención de la contaminación e impactos secundarios.

Observaciones

Este método no debe aplicarse de manera generalizada, sino tras la aprobación del organismo gestor. Previamente deberán realizarse ensayos para asegurar el funcionamiento del sistema en cada caso, dado que su viabilidad depende de la granulometría de la arena, de su peso específico y su grado de inclusión y adherencia en las partículas de fuel.

En todo caso se solicitará la presencia, con la antelación debida, del equipo de seguimiento para los casos en que deba consultarse la aplicación de los criterios expuestos, o para la propuesta de metodologías alternativas.

CASO Nº 2

LIMPIEZA DE MASAS DE FUEL QUE APARECEN EN EL LÍMITE INTERMAREAL INFERIOR

Características de la contaminación

Fuel que aflora debido al cambio de perfil de la

Retirada manual de restos de fuel acumulados en la zona intermareal inferior.



playa, en el límite intermareal inferior - inframareal.
Masas compactas y nítidas de fuel.

Sustrato

Arena suelta (no debe aplicarse este método en sistemas dunares o en áreas de estuario, debiendo ser estudiadas específicamente antes de proceder a su limpieza).

Delimitación

No se realizarán labores adicionales de delimitación, una vez sea localizada la mancha de fuel, y si se considera que tiene la entidad y accesibilidad suficiente como para ser recogida.

Deberá balizarse, si es posible, la localización de la masa detectada.

Metodología de limpieza preferente

- Limpieza con medios mecánicos; se utilizarán palas excavadoras que permitan la recogida directa de las masas que afloran a la superficie.
- Limpieza con medios manuales; se podrá complementar la operación mecánica, con el uso de palas manuales.

Precauciones medioambientales

Deberán ponerse en todo caso los medios necesarios para:

- Prevenir la contaminación del agua.
- Prevenir la contaminación de arena limpia.
- Prevención de la generación de residuos por ineficiencia del manejo de la pala.
- Prevención de la contaminación e impactos secundarios.

Observaciones

Es preciso programar los trabajos de manera especialmente precisa, dado que se deben realizar en una franja horaria muy estrecha y durante un número limitado de días al mes (mareas vivas).

Se solicitará la presencia, con la antelación debida, del equipo de seguimiento para los casos en que deba consultarse la aplicación de los criterios expuestos y/o para la propuesta de metodologías alternativas.

CASO Nº 3

CAPAS DE FUEL CONTINUAS

Características de la contaminación

- Capas continuas de fuel.
- Grosor medio superior a 1 cm.
- Existencia de una capa de arena que puede ser extraída sobre la lámina contaminada.

Cata profunda con uso de maquinaria.



Sustrato

Arena suelta (no debe aplicarse este método en sistemas dunares o en áreas de estuario, debiendo ser estudiadas específicamente antes de proceder a su limpieza).

Delimitación

Podrá comenzarse el trabajo cuando se conozca la localización de una capa de estas características.

La delimitación se hará paralelamente, por medio de calicatas, con la supervisión del equipo de seguimiento del organismo gestor.

Deberá balizarse el emplazamiento durante los trabajos, con el fin de evitar el acceso de personal no autorizado, ordenar el tránsito durante los trabajos, y señalar el estado de avance de los mismos.

Se señalarán las zonas sobre las que ya se haya trabajado.

Metodología de limpieza preferente

Se realizarán secuencialmente las siguientes operaciones:

1. Retirada mecánica de arena superficial, preferentemente en sentido contrario al mar.
2. Retirada manual de la última capa de arena superficial.
3. Retirada manual del material contaminado.

Las operaciones 2 y 3, si las condiciones lo justifican, se pueden hacer de forma mecánica si posteriormente se procede a una selección manual de los residuos antes de su transporte al vertedero.



Retirada de un nivel continuo de fuel de 1 cm. de espesor.

Precauciones medioambientales

Deberán ponerse en todo caso los medios necesarios para:

- Prevenir la contaminación del agua.
- Prevenir la contaminación de arena limpia.
- Prevención de la generación de residuos por ineficiencia del manejo de la pala.
- Prevención de la contaminación e impactos secundarios.

Observaciones

La posibilidad de retirada mecánica de la arena superficial, se definirá en cada caso por el responsable de trabajos de la playa. El grosor medio adecuado para la utilización de esta técnica se evaluará por el responsable de trabajos de la playa.

Es posible que los procesos manuales se sustituyan por procesos mecánicos en aquellas zonas en que se mejore la rapidez sin perjui-



cio sensible debido a la generación excesiva de residuos o mezcla inaceptable de la lámina de fuel con la arena limpia.

Se solicitará la presencia, con la antelación debida, del equipo de seguimiento para los casos en que deba consultarse la aplicación de los criterios expuestos y/o para la propuesta de metodologías alternativas.

CASO Nº 4

BOLAS DE FUEL QUE AFLORAN A LA SUPERFICIE

Características de la contaminación

Bolas que afloran a la superficie.

Sustrato

Arena suelta (no debe aplicarse este método en sistemas dunares o en áreas de estuario, debiendo ser estudiadas específicamente antes de proceder a su limpieza).

Delimitación

Podrá comenzarse el trabajo cuando se conozca la localización de una capa de estas características, después de informar al equipo de seguimiento del organismo competente.

La delimitación se hará visualmente, tomando fotografías de la extensión completa y del detalle y enviándoselas al equipo de seguimiento del organismo gestor.

Deberá balizarse el emplazamiento durante los trabajos, con el fin de evitar el acceso de personal no autorizado, ordenar el tránsito durante los trabajos, y señalar el estado de avance de los trabajos.

Se señalarán las zonas sobre las que ya se haya trabajado.

Metodología de limpieza preferente

Se realizará el proceso de manera secuencial:

1. Barrido de las bolas con herramientas de mano.
2. Tamiz manual de luz no superior a 2-3 mm.
3. Se podrá utilizar sobre arena seca, un tamiz mecánico del luz adecuada.

Precauciones medioambientales

Deberán ponerse en todo caso los medios necesarios para:

- Prevención de la contaminación del agua.
- Prevención de la contaminación de arena limpia.

Cribado manual.



GUÍA 4

- Prevención de la generación de residuos por ineficiencia del manejo de la pala.
- Prevención de la contaminación e impactos secundarios

Observaciones

Las herramientas de mano deberán ser utilizadas bajo la supervisión de un responsable de trabajos, con el fin no de generar una mezcla inaceptable de arena con fuel.

El tamiz deberá tener el tamaño adecuado para mejorar la eficiencia del proceso y el material será adecuado para reducir la fragmentación del fuel.

Se valorará la posibilidad de secado de la arena previo al tamizado, para mejorar la eficiencia del proceso.

Se solicitará la presencia, con la antelación debida, del equipo de seguimiento para los casos en que deba consultarse la aplicación de los criterios expuestos, o para la propuesta de metodologías alternativas.

En el tamizado mecánico, se seguirán las directrices establecidas por el responsable de playa, para evitar la fragmentación y la contaminación de arena limpia.

CASO N° 5

CAPAS DE FUEL DIFUSAS

Características de la contaminación

Capas contaminadas en una franja amplia de profundidades, sin formar capas continuas.

Número elevado de capas continuas demasiado estrechas o difusas para ser extraídas manualmente o para separarlas de la arena limpia que las envuelve.

Sustrato

Arena suelta (no debe aplicarse este método en sistemas dunares o en áreas de estuario, debiendo ser estudiadas específicamente antes de proceder a su limpieza).

Delimitación

Podrá comenzarse el trabajo cuando se conozca la localización de una capa de estas características, después de informar al equipo de seguimiento.

La delimitación se hará por medio de un muestreo por calicatas autorizado por el organismo gestor y con la presencia del equipo de seguimiento, tomando fotografías de la extensión completa y del detalle de la misma.

Deberá balizarse el emplazamiento durante los trabajos, con el fin de evitar el acceso de personal no autorizado, ordenar el tránsito

Delimitación de una zona de trabajo con contaminación profunda.



durante los trabajos, y señalar el estado de avance de los trabajos.
Se señalarán las zonas sobre las que ya se haya trabajado.
Deberán realizarse calicatas para evaluar la extensión de la zona

Metodología de limpieza preferente

Utilización de medios mecánicos o mecanizados de tamizado.
Utilización posible de arado del terreno para exponer partículas contaminadas (siempre y cuando no sea factible otra opción).
Durante las tareas de delimitación y en la ejecución de los trabajos, pueden hallarse zonas en las que es posible la aplicación de la técnica expuesta en el caso n° 2.

Precauciones medioambientales

Deberán ponerse en todo caso los medios necesarios para:

- Prevención de la contaminación del agua.
- Prevención de la contaminación de arena limpia.
- Prevención de la generación de residuos por ineficiencia del manejo de la pala.
- Prevención de la contaminación e impactos secundarios.

Observaciones

En caso de que pueda aplicarse localmente la técnica expuesta en el caso n° 2, deberá balizarse adecuadamente, y comunicarse al equipo de seguimiento.
El tamiz deberá tener el tamaño adecuado para mejorar la eficiencia del proceso, y el material será adecuado para reducir la fragmentación del fuel.
En el tamizado mecánico, se seguirán las directrices establecidas por el responsable de playa, para evitar la fragmentación y la contaminación de arena limpia.
Se valorará la posibilidad de secado de la arena previo al tamizado, para mejorar la eficiencia del proceso.

CASO N° 6

CASO GENERAL

Características de la contaminación

Aquellas que no se ajusten de ninguna manera a las previstas u otras en las que se prevea una posibilidad distinta de actuación.

Sustrato

Cualquier tipo de sustrato, y en todo caso aquel sustrato arenoso de grano grueso que permita la infiltración de material en profundidad, o

Adaptación de maquinaria industrial a la retirada de restos dispersos y profundos.



GUÍA 4

bien sustrato distinto al arenoso. Deberá estudiarse previamente la viabilidad de aplicación de cualquier metodología en sistemas dunares o en áreas de estuario, antes de proceder a su limpieza.

Delimitación

Se delimitará en cualquier caso la zona afectada, en la medida de lo posible. Se señalarán las zonas sobre las que ya se haya trabajado.

Metodología de limpieza preferente

Se propondrán y aplicarán metodologías alternativas de limpieza de acuerdo con los medios disponibles, los principios generales de:

1. Prevención de la contaminación de zonas limpias.
2. Prevención del impacto ambiental.
3. Prevención de la generación de residuos.
4. Cumplimiento del objetivo de limpieza.

Se aportará la información suficiente al equipo de seguimiento para la aplicación de cualquier técnica aplicada.

▶▶ 4. COORDINACIÓN Y DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

En el equipo de limpieza de cada zona se establecerán las siguientes figuras: El Coordinador de cada zona indicará entre la plantilla a su cargo, un responsable de las tareas de limpieza profunda para las playas afectadas, cuyas funciones serán:

- Comprobar, conocer y garantizar la notificación diaria del proceso de limpieza de la playa y de la planificación diaria de acuerdo con el formato que se facilite (Anexo I).
- Garantizar que se planifica la limpieza que se va a hacer, que se informa al equipo de seguimiento del organismo gestor de esta planificación, y de que existen recursos para la planificación propuesta.
- Comprobar que el método de limpieza aplicado tiene en cuenta las limitaciones ambientales existentes.
- Conocer y garantizar el mantenimiento de un registro diario de los medios utilizados en cada playa, e incidencias que tengan lugar durante las tareas de limpieza.
- Informar periódicamente al equipo de seguimiento en la forma que se señale por éste, de cualquier aspecto relacionado con estas responsabilidades.
- Conocer y recoger la información nueva de zonas contaminadas no identificadas de manera previa, e informar al Centro de Proceso de Datos de las evidencias de esta contaminación.

Esta responsabilidad deberá recaer en una persona con

Nivel continuo de fuel en la zona intermareal superior.



experiencia en la limpieza de fuel, así como con conocimientos y formación ambiental. Durante la realización de los trabajos se indicará una persona responsable de cada punto de limpieza, que dirigirá los trabajos, y garantizará que se ejecuten, con las precauciones y metodologías establecidas por el responsable de limpieza profunda de cada zona, y las indicaciones del organismo competente.

Deberá además:

- Mantener un registro actualizado de las características de la contaminación detectada (según Anexo II) y las características ambientales de la localización afectada, así como garantizar un adecuado conocimiento de éstas por parte de todo el personal que participe en la limpieza. Este registro deberá incluir documentación fotográfica. La información que se incluya en él será clara, objetiva, y fiable, dado que servirá para establecer el método de limpieza y los medios necesarios para ésta.
- Informar a los trabajadores del objetivo general y diario y de las condiciones en que deberá realizarse el trabajo.
- Mantener un registro diario de los medios utilizados en cada playa, las metodologías aplicadas e incidencias que tengan lugar durante las tareas de limpieza. Este registro deberá incluir documentación fotográfica.
- Realizar una planificación previa de los trabajos a realizar, que deberá ser validada por el responsable de limpieza profunda de la zona. Esta planificación deberá considerar los recursos necesarios y los objetivos diarios y generales de la zona.
- La zona previsiblemente contaminada se deberá mantener delimitada con estacas, a la espera de la realización de los trabajos de limpieza, salvo que especiales circunstancias lo impidan (por ejemplo, la inundación diaria). Asimismo, las zonas que estén libres de contaminación, deberán señalarse para su identificación por parte de la población, evitando, en lo posible, la entrada de maquinaria o personal de limpieza en las mismas.
- Facilitar la información que se solicite al equipo de seguimiento del organismo competente.
- Observar las indicaciones del organismo gestor.

En todo caso, el personal asignado a las tareas de limpieza, deberá conocer las características de la contaminación y los valores ambientales que deben preservarse, pidiendo información a los responsables antes de proceder a nuevas actuaciones.

El organismo competente, debe aportar un equipo de seguimiento ambiental para la supervisión de los trabajos y el apoyo técnico-medio-

Empleo de cribadoras autopropulsadas en la retirada de contaminación superficial atomizada.



GUÍA 4

ambiental que sea necesario. Dicho equipo estará en contacto con los responsables de las tareas de limpieza de cada zona, definiendo, previamente al inicio de las mismas, los valores ambientales que deben permanecer inalterados, los métodos de trabajo autorizados y los impactos asumibles durante el proceso de limpieza así como la dimensión de las tareas de seguimiento y recuperación ambiental que deben llevarse a cabo una vez finalizadas las mismas.

Estas personas recabarán la información de cada visita validando la planificación aportada por las zonas, y la información de los trabajos realizados.

▶▶ 5. ASPECTOS AMBIENTALES

Existen una serie de aspectos ambientales relacionados con la limpieza que deben tenerse en cuenta. A continuación se realiza una breve descripción de éstos, los impactos que causan, así como los medios para reducirlos en el empleo de cada una de las técnicas.

Los impactos más importantes serán:

- Generación de residuos de fuel.
- Contaminación por mezcla con arena limpia.
- Alteración o destrucción de valores naturales por impacto sobre zonas sensibles.

5.1 Generación de residuos y contaminación de material limpio

La cantidad generada de residuos de fuel mezclados con la arena, depende en gran medida de la eficacia de la separación de los residuos de la arena.

El impacto ambiental que causa la generación de estos residuos puede llegar a ser severo, y debe reducirse lo máximo posible con una adecuada segregación de la capa de fuel y de arena. Para esto, se deberá considerar:

- 1º. Utilizar la maquinaria adecuada en cada caso para la separación más cuidadosa de los horizontes de material limpio y sucio.
- 2º. Informar al personal para que conozca la importancia de la segregación de los horizontes contaminados de los no contaminados, para evitar la generación excesiva de residuos, y la contaminación de la playa. Deberá realizarse la comprobación de que todo el personal implicado en las labores de limpieza ha sido informado, de que conocen el sistema de segregación de residuos (limpieza y desecho de trajes, etc), y los valores ambientales de cada playa.
- 3º. Se evitará el arado/volteo del terreno mientras sea factible, en cuanto a recursos disponibles y plazo de limpieza, la extracción previa del material no contaminado.
- 4º. La extracción por medios mecánicos del material limpio

Cribadoras remolcadas en limpieza de arenales.



presente sobre capas contaminadas deberá realizarse, al menos entre dos personas, de manera que un operario desde tierra pueda guiar la actuación de quien maneje la pala, garantizando:

- Que la maquinaria no pasa sobre las capas de fuel, de forma que altere la posibilidad de extraerlo de manera limpia.
- Que la maquinaria tome, entre el material limpio, fracciones contaminadas.

5°. La extracción por medios mecánicos del material contaminado se hará entre dos personas, al menos, de manera que una persona desde tierra, pueda guiar la actuación de quien maneje la máquina, garantizando que la extracción incluya únicamente la fracción contaminada, que la maquinaria no pasa sobre las capas de fuel, que se deposite el material contaminado en el contenedor correspondiente, utilizando siempre un mismo itinerario, y que los derrames de material contaminado que se produzcan durante el trasiego, sean mínimos e inmediatamente recogidos por el personal.

6°. Disponer, de los depósitos del vertido en las inmediaciones de la zona a descontaminar, de manera que se evite el trasiego del material contaminado sobre la playa valorando, si es necesario, el método de traslado que menor impacto ocasione.

7°. En caso de que las tareas se realicen en una zona sensible de fauna, flora, valores geológicos, geomorfológicos y edafológicos y/o de elevado valor paisajístico, por el equipo de seguimiento se deberá realizar un control del mantenimiento y/ o recuperación de los valores biológicos en el ámbito de actuación. Asimismo, este equipo podrá proponer nuevas medidas de seguimiento de la atenuación natural o la realización de actuaciones de recuperación ambiental de los valores perturbados.

Retirada manual de una bolsa de fuel.

5.2 Impacto secundario derivado de la afección a zonas sensibles

El impacto secundario derivado de la afección de cualquiera de las sensibilidades definidas por las características ambientales es, en algún caso, más importante que la presencia de los materiales tóxicos.

Entre los impactos secundarios más relevantes, deberán evitarse especialmente los daños sobre elementos naturales con valor ecológico, estético-paisajístico y elementos de uso para la población.

- Alteración del medio físico (riberas de ríos, daños a rocas con valor ornamental, etc.).
- Alteración de vegetación o de formaciones



GUÍA 4

geomorfológicas con importancia, por su singularidad, su representatividad, o su papel ecológico y paisajístico.

- Alteración de humedales y suelos hidromorfos en diferentes estadios de terrestrificación.
- Alteración de paseos, equipamientos, accesos, bienes privados, etc.

Se deberán tener en cuenta los siguientes puntos:

- 1º. En todo caso se realizará una valoración de la posibilidad de acceso a la zona afectada con medios humanos y maquinaria necesaria, estudiando previamente los elementos del medio sensible y las características previstas de la contaminación.
- 2º. El paso de la maquinaria y del personal, evitará siempre la alteración del medio en el entorno del acceso, siendo planificado previamente con las indicaciones del responsable.
- 3º. El paso de las personas hacia el punto contaminado deberá ser planificado previamente al inicio de la limpieza, de manera que se eviten los entornos sensibles.
- 4º. La técnica utilizada deberá ser acorde con el plazo establecido. En localizaciones concretas de gran sensibilidad ambiental a la utilización de maquinaria, podrán establecerse métodos de limpieza manual si se dispone de los recursos necesarios para el cumplimiento del plazo.

1. Uso de cribadoras autopropulsadas para eliminación de residuos atomizados.

2. Uso de maquinaria en la retirada de niveles de fuel en el infralitoral superior.



ANEXO I

Planificación específica de limpieza profunda y contaminación secundaria (enviar por fax diariamente al equipo de seguimiento del organismo gestor).

Nombre de la playa	Municipio	Zona nº	Cód. playa	
RR.HH.	Personal interno		Personal externo	
	Nº	Descripción	Nº	Descripción
RR.TT Y METODOLOGÍAS	Medios mecánicos		Metodologías manuales	
	Nº	Descripción	Nº	Descripción
DESCRIPCIÓN DE LABORES				
INFORMADOR				

ANEXO II

Mantener en registro y actualizar si es necesario; mantener en la zona de trabajo, y enviar a solicitud del equipo de seguimiento del organismo gestor.

Nombre de la playa		Municipio			Zona nº	Cód. playa		
Tipo de sedimento:	Arena [] Otros []	Presencia	Estado fuel 1		Extensión de la capa [x]			Grado de certeza [x] de contaminación profunda
Horizontes contaminados		(x)	1/2	A/B/C	Descripción	< 10 m ² []	< 10-100 m ² []	< 10-1.000 m ² []
						1.000 - 10.000 m ²	10.000 - 100.000 m ²	>100.000 m ²
> 1m					Localización según la marea [x]	Supramareal []	Intermareal []	Inframareal []
1m - 75 cm						Grosor de la capa de fuel 1mm / 1 cm / 10 cm / 25 cm / 50 cm		Máximo [] Mínimo []
75 cm - 50 cm						Grosor de la capa de fuel 10 / 20 / 30 / 40 / 50 / 60 / 70 / 80 / 90 / 100		Máximo [] Mínimo []
50 cm - 75 cm						PROPUESTA DE ACTUACIÓN		
25 cm - 50 cm								
<25 cm								
SENSIBILIDADES AMBIENTALES A EVITAR								
OBSERVACIONES								

1 Estado del fuel.

• Fuel fresco (1) o intemperizado (2)

• Placas continuas (A) o galletas dispersas (B) Bolas de fuel (C)

Procedimiento para la limpieza de borde vegetal afectado y áreas con presencia de contaminación secundaria

▶▶ 1. CONSIDERACIONES GENERALES

Se entiende como zonas sensibles, aquellas que tienen asociado al borde litoral valores biológicos, sociales, o bien valores geomorfológicos y paisajísticos, que puedan verse afectados por la contaminación o por las tareas de limpieza.

La actuación sobre estas zonas requiere un diagnóstico ambiental particular para cada zona afectada, y la colaboración directa de los profesionales ambientalistas.

Se considera imprescindible la definición de procedimientos para establecer:

- La situación ecológica y paisajística actual, así como la situación anterior al accidente del buque.
- Las actuaciones precisas para prevenir los efectos de la contaminación en el sistema biológico-natural que podrán notarse a medio o largo plazo, y la necesidad de seguimiento del proceso de recuperación.
- Las necesidades de registro de la información, formación, coordinación y vigilancia ambiental durante la ejecución de los trabajos.
- Las técnicas elegidas que serán utilizadas para la limpieza, transporte y gestión de los residuos.
- Las medidas preventivas necesarias durante la ejecución de los trabajos.

Esta guía orientará en el establecimiento de un procedimiento de limpieza de las zonas vegetadas y/o medioambientalmente sensibles, que permita la retirada del fuel con las precauciones medioambientales suficientes para alcanzar el objetivo trazado.

Además se definen los mecanismos básicos para la vigilancia ambiental de este proceso de limpieza, la forma de propuesta de actuaciones complejas, las posibilidades de actuación complementaria y la necesidad de seguimiento.

Borde marismal impregnado de hidrocarburos.





2. OBJETIVOS AMBIENTALES Y JERARQUÍA

Las consecuencias medioambientales de la presencia de contaminación en sistemas cerrados, y/o ecológicamente sensibles, así como el efecto estético del mismo en zonas turísticas o urbanizadas, se consideran más perjudiciales que los posibles efectos secundarios de la limpieza dirigida con criterio ambiental.

El efecto continuado de la contaminación sobre la composición, tamaño y naturalidad de las comunidades biológicas, puede determinar impactos difícilmente reversibles.

La base fundamental de esta afirmación es que, en sistemas cerrados, el periodo en que operan los sistemas biológicos y los elementos meteorológicos que degradan el fuel es muy superior al periodo en que se manifiestan los efectos de la contaminación.

Por esto, no se considerará la posibilidad de permanencia de la contaminación, salvo en aquellos lugares en los que se pueda establecer:

- Que el efecto a largo plazo de las labores de limpieza, tal y como se describen en este documento, tenga consecuencias claramente más graves sobre los factores del medio biótico, físico o social, que la permanencia de la contaminación.
- Que el sistema afectado es suficientemente abierto como para prever una reversibilidad de los impactos causados por la contaminación, mucho más rápida que el proceso de manifestación de los impactos en toda su gravedad.

El alcance de la actuación y las propuestas complementarias para cada zona, deberán establecerse de acuerdo con los siguientes objetivos:

- Garantía de la recuperación de las condiciones ecológicas, estéticas, así como las posibilidades de uso público del entorno afectado.
- Limitación de las técnicas de limpieza y el establecimiento de técnicas auxiliares que garanticen que, el efecto de la actuación, no tenga consecuencias adversas para el medio ambiente.



La propuesta en la actuación deberá estar sostenida por un análisis ambiental, que permita jerarquizar los valores ambientales que deben ser protegidos, previa evaluación de las sensibilidades de la zona.

El bien ambiental que se proteja en cada punto afectado, deberá ser conocido por cualquier participante en el diseño, ejecución o seguimiento de la limpieza.

En cada zona se deberán ordenar sistemas que garanticen el conocimiento básico de la actuación por parte de los participantes en los trabajos, y del público; particularmente se establecerán:

- Objetivos de la actuación.
- Limitaciones que se debe respetar en la aplicación de técnicas de limpieza y técnicas auxiliares, para la protección ambiental.
- Necesidades de participación del público en la prevención del impacto hasta la recuperación definitiva de las zonas afectadas, indicando las limitaciones al uso del dominio público marítimo-terrestre que será necesario fijar.

Los medios y las técnicas de limpieza deberán ser ajustados a:

1. La sensibilidad ambiental de cada entorno.
2. Eficacia en el cumplimiento de los objetivos.
3. El principio general de eficiencia en el uso de los recursos.
4. El plazo que se establezca para dicho cumplimiento.

▶▶ 3. ANÁLISIS AMBIENTAL

3.1 Información

La información que se precisa para la oportuna propuesta de actuación es la siguiente:

- **Identificación de la zona afectada**

- Codificación del ámbito afectado (código alfanumérico correlativo a la línea de



1. Afección en un prado litoral sobre el que se desarrolló la vegetación.

2. Descontaminación de un sistema dunar.

GUÍA 5

Zona dunar deteriorada por las labores de recogida de fuel.



costa, que permita la inserción de nuevos códigos).

- Identificación inequívoca de la zona afectada (Coordenadas UTM, Nombre local, Código de playas próximas, Municipio, Zona, plano, croquis, y ortofotografía).

• **Información ambiental**

- Hábitat existentes en el ámbito de análisis.
- El régimen de protección de los espacios naturales existentes.
- La sensibilidad, singularidad y representatividad asociados a las poblaciones y especies de fauna y de vegetación sensible.
- Sensibilidad del medio al acceso por medio de transporte/maquinaria.
- Accesibilidad existente.
- Limitaciones significativas de actuación generadas por la marea en el ámbito de análisis.
- Fotografías del estado actual (detalles y generales).
- Croquis temáticos.

• **Información de la contaminación**

- Estado del contaminante, profundidad, superficie afectada.
- Estado de las plantas.
- Fotografías del estado actual.
- Croquis temáticos.

3.2 Documentación

La documentación deberá registrarse de manera estandarizada, de forma que permita el establecimiento de objetivos, la toma de decisiones y la propuesta de actuación.

Se ha establecido un formato adecuado, el Anexo N° 1, que se facilitará digitalmente a los responsables de cada zona. Este formato, que podrá ser enviado vía e-mail, se complementará con:

- 1. Fotografías en formato digital (entrega en CD, indicando la procedencia en los ficheros digitales).
- 2. Comunicaciones vía e-mail (correcciones, nuevos datos relevantes, etc.), o por correo ordinario.

3.3 Análisis de la documentación

La información que se aporte por los técnicos competentes de cada zona será contrastada y completada con la información del sistema de control y vigilancia.

La documentación obtenida, generará el Inventario de Zonas Sensibles, Borde Vegetal Afectado y Áreas Afectadas por la Contaminación Secundaria, que será la referencia básica para el establecimiento de los objetivos.

▶▶ 4. PROPUESTA DE ACTUACIÓN

Cada propuesta de actuación, será realizado por el personal responsable de cada zona, y deberá ser valorada, completada, sustituida o aceptada, por el organismo responsable. La propuesta de actuación deberá estar referida a una o más zonas del Inventario de Zonas Sensibles, Borde Vegetal Afectado y Ámbitos de Contaminación Secundaria.

- Establecimiento del objetivo de limpieza.
- Métodos/técnicas de actuación.
- Limitaciones y prevenciones ambientales que deben imponerse.
- Previsión de recursos necesarios.
- Previsión de la duración de las labores.
- Previsión de las características del residuo.
- Previsión de las actuaciones complementarias para la recuperación del ámbito afectado.

La propuesta de actuación se realizará tomando, como base, un formato estándar, que se adjunta como Anexo N° 2; el conjunto de las propuestas de actuación conformarán el documento Propuesta de Actuación sobre Zonas Sensibles, Borde Vegetal Afectado y Áreas Afectadas por la Contaminación Secundaria.

▶▶ 5. PROPUESTA DE VIGILANCIA Y SEGUIMIENTO

Cada propuesta de actuación tendrá asociada una propuesta de vigilancia y seguimiento; será elaborado por los responsables de la vigilancia de los trabajos de limpieza, y será valorada, completada, aceptada o sustituida, por el organismo competente.

La propuesta de vigilancia deberá estar referida a una o más zonas del Inventario de Zonas Sensibles, Borde Vegetal Afectado y Ámbitos de Contaminación Secundaria.

La vigilancia y seguimiento se realizará durante la ejecución de los trabajos, y posteriormente. Su función será la de cumplir y comprobar periódicamente el correcto cumplimiento de los documentos aprobados:

- El presente procedimiento.
- Documento de Propuesta de Actuación sobre Zonas Sensibles,



La misma zona de la página izquierda tras la restauración.

GUÍA 5

Borde Vegetal Afectado y Áreas de Contaminación Secundaria.

- Normativa legal en materia de protección de la naturaleza y de Dominio Público Marítimo-Terrestre.

Asimismo, se comprobará la necesidad de mejorar o modificar los documentos mencionados, en relación con la existencia de impactos no contemplados, o bien en casos de ineficacia (en relación con los objetivos previstos) de las medidas o actuaciones previstas.

Tras la fase de actuación, se comprobará el comportamiento regenerativo del medio en relación con la actuación y las medidas adoptadas, y se realizarán los estudios y propuestas que sean precisas para alcanzar o verificar el cumplimiento de los objetivos previstos.

▶▶ 6. PROGRAMA DE FORMACIÓN DEL PERSONAL Y PRECAUCIONES AMBIENTALES

Se considera fundamental la formación del personal que va a estar implicado en todo el proceso de retirada del fuel, en particular aquellas personas que van a desarrollar su actividad en espacios protegidos, en zonas ZEPA, LIC, ZEC, humedales Ramsar, u otros que por su valor ecológico, faunístico o la importancia de su flora, puedan ser susceptibles del impacto que genera la limpieza del fuel (lagunas litorales, marismas, sistemas dunares, estuarios, turberas litorales, etc.).

Se recomienda que las personas que desempeñan diferentes funciones dentro del dispositivo de limpieza: vigilancia de playas, transporte de residuos, encargados de las brigadas o unidades de trabajo, así como los operarios, reciban unas nociones básicas sobre la fragilidad del medio en el que van a desarrollar su

actividad. Asimismo deberían comprender la necesidad de respetar un procedimiento de trabajo, y el posible impacto negativo que en el medio generaría su incumplimiento.

Es importante subrayar que, en muchos casos, se va a trabajar en un entorno escasamente frecuentado por la población, y utilizado por las aves invernantes que llegan en otoño desde el Norte de Europa, que sufrirá secuencialmente dos tipos de agresiones:

- Impacto derivado de la presencia del contaminante en el medio.
- Impacto derivado de la presencia de personal e infraestructuras de limpieza.

Por eso es importante que el perfil del personal vinculado a estas labores garantice cierta sensibilidad ambiental para alcanzar un mayor grado de complicidad con el medio. La persona

Impacto del fuel sobre el borde vegetal.



encargada de cada grupo de trabajo, deberá poder motivar a los operarios en este sentido.

Para esto se diseñará un plan de trabajo específico para cada uno de los entornos naturales que se mencionaron con anterioridad (marismas, turberas litorales, dunas, etc.).

Las unidades de trabajo (brigadas, cuadrillas, etc.) deberán formarse de acuerdo a una serie de criterios:

- Número reducido de personas.
- Conocimiento por parte del personal del tipo de entorno en que se trabaja, y sus valores ambientales.
- Conocimiento de los distintos aspectos preventivos que se establecen en el procedimiento (evitar el tránsito por zonas no autorizadas, caminar por las zonas señalizadas a tal efecto, etc.).

La ejecución de los trabajos se realizará de manera que no de lugar a contaminación, ni a impactos secundarios. Para ello se evitará el depósito de residuos en zonas con pendiente, zonas afectadas por el oleaje, o zonas próximas a cauces u otras aguas superficiales.

Se habilitarán zonas de aparcamiento fuera de los espacios dunares o llanuras arenosas vegetadas; asimismo se establecerá una estricta disciplina de tránsito en los diferentes ámbitos de trabajo.

Para esto deberá realizarse una planificación y control de la ejecución de los trabajos, transporte de materiales y residuos, movimiento de maquinaria, personal, etc., arbitrando medidas que sean de estricto cumplimiento por todo el dispositivo de limpieza.

Únicamente en aquellas actuaciones en las que por su magnitud, o por el estado de contaminación, no pueda evitarse la afección parcial a zonas no afectadas, podrá considerarse esta posibilidad, poniendo los medios necesarios para minimizar el impacto negativo.

Ejemplo de dunas inestables en una zona en que han tenido lugar labores de limpieza.

▶▶ 7. CASOS DE AFECCIÓN POR FUEL O IMPACTO SECUNDARIO POR LAS TAREAS DE LIMPIEZA

7.1 Poblaciones vegetales afectadas

Deberá recogerse el residuo adherido a los individuos, de la manera más práctica posible, debiendo seleccionar el objetivo de conservación de acuerdo con la siguiente jerarquía:

- 1º Evitar la contaminación de ejemplares no afectados.
- 2º Eliminar la contaminación



existente.

- 3º Conservación de la posibilidad de lograr una nueva generación (semillas, individuos reproductores,...).
- 4º Conservación de una parte de la población afectada.
- 5º Conservación del individuo.

El criterio estético deberá valorarse, en cada caso, en relación con el uso de la zona por la población; de cualquier forma, los objetivos que se persigan con dicha actuación deberán estar ajustados a criterios estéticos y a la comodidad del uso de zonas verdes por parte de la población.

7.1.1 Poblaciones de especies vegetales sensibles

Deberán considerarse como especies sensibles aquellas que, por su singularidad científica, su carácter de endémicas, su estatus de protección, y las circunstancias locales (que la población sea relevante para la conservación de la especie a nivel regional), hagan necesaria su consideración especial, y esfuerzos encaminados a la conservación de la población.

Deberá tenerse en cuenta el tamaño de la población y la dispersión de los ejemplares, para el establecimiento de las acciones a realizar y de los objetivos de restauración y conservación.

• a) Poblaciones de pequeño tamaño, y/o formadas por ejemplares dispersos

En este caso la conservación de cada individuo puede tener una gran importancia, representando un posible foco de propagación de la población sensible.

Se tomará nota, previamente al comienzo de las tareas de limpieza, de una aproximación de la densidad y distribución de los ejemplares que componen la población; asimismo, se definirán las necesidades de vigilancia y control de la evolución de estas poblaciones.

Se establecerán y ejecutarán planes sencillos y limitados de recogida de semillas (únicamente de las especies más sensibles) para su siembra posterior, esquejes o bien otro tipo de propágulos según el tipo de reproducción de las especies.

El plan de limpieza que se establezca para cada zona, con la supervisión del equipo de seguimiento, deberá contener medidas para la toma

Señalización de especies protegidas de pequeño tamaño.



de decisión sobre la limpieza de cada ejemplar, garantizando:

- Que se señalen en las proximidades de la actuación y se protejan de manera visible los ejemplares que deberán ser respetados, por estar intactos, o bien por mantenerse en estado recuperable, o por constituir un reservorio genético que asegure una nueva generación.
- Que se retiren los ejemplares que, a la vista de su estado irrecuperable, no sea viable su mantenimiento.

• b) Poblaciones de gran tamaño

En este caso deberá protegerse principalmente la parte intacta de la población; además se podrán diseñar y ejecutar sencillos planes de recogida de semillas, esquejes y otros propágulos (únicamente de las especies más sensibles) para la siembra posterior.

El plan de limpieza que se establezca, deberá contener medidas para la toma de decisión sobre la limpieza de cada ejemplar, de manera que:

- Deberá señalarse y evitarse el paso sobre zonas en las que existan las especies señaladas como sensibles.
- Podrá considerarse suficiente el mantenimiento de sectores no afectados de la población, si con esto se consigue un acondicionamiento y limpieza del suelo afectado más acorde para el desarrollo de los procesos biológicos.

7.1.2 Poblaciones de especies vegetales no sensibles

Para las poblaciones de especies vegetales afectadas que no tengan la consideración de sensibles, el esfuerzo deberá aplicarse de manera fundamental sobre la eliminación de la contaminación, la estabilidad del terreno y la recuperación estética, aunque deberá respetarse siempre la vegetación en un grado compatible con la descontaminación.

En todo caso, deberán señalarse inequívocamente el vial de acceso, la zona sujeta a actividad y las zonas no afectadas sobre las que no debe actuarse ni transitarse.

Se podrá establecer la recogida limitada de material que asegure la continuidad genética

Restauración de una zona dunar afectada por las labores de limpieza.



de los ejemplares afectados, en el caso de que se describiese alguna circunstancia o actuación auxiliar que lo recomendase.

7.2 Zonas contaminadas especiales o sensibles

Son zonas contaminadas sensibles que requieren un grado elevado de atención, aquellas que presentan elementos o factores medioambientales que pueden ser desestabilizados con cierta facilidad por la actuación en su entorno. Estas zonas son las siguientes:

- Humedales costeros.
- Turberas litorales.
- Estuarios.
- Marismas.
- Sistemas dunares.
- Lagos eutróficos.
- Zonas de valor pesquero-marisquero, o que mantienen gran influencia sobre estos recursos.
- Espacios naturales protegidos.

Por otro lado se consideran zonas contaminadas especiales, aquellas que están estrechamente vinculadas a la actividad humana:

- Zonas de recreo/urbanizadas.
- Zonas turísticas y equipamientos.

Como norma general, tanto el análisis ambiental como la propuesta de actuación y la ejecución deberán estar sujetas a estricta vigilancia por parte del equipo de control y seguimiento.

En aquellas zonas en las que se detecten valores ecológicos, deberá establecerse una propuesta de seguimiento que observe la verificación periódica de la recuperación de dichos valores.

7.2.1 Presencia de fuel en cauces fluviales o estuarinos

Las zonas ocupadas por aguas corrientes, con mayor o menor influencia de la marea, son zonas sensibles. La eliminación de la contaminación presente en el lecho de sus cauces es necesaria para la garantía de la recuperación de la función ecológica y paisajística que las caracteriza.

La diversidad en extensión e importancia de cada zona contaminada exige un grado de

Humedal afectado.



planificación diferente en las soluciones a adoptar.

Los técnicos ambientales competentes de cada zona establecerán una propuesta de actuación que considere:

- Ámbito de actuación.
- Descripción de la propuesta.
- Dragados necesarios (volúmenes y superficies).
- Aportes de áridos precisos (volúmenes y delimitación de superficies).
- Medios accesorios precisos (barreras de retención de la contaminación, etc.).

La actuación propuesta deberá tener como objetivos:

- La eliminación directa de la contaminación del entorno afectado.
- La prevención de la contaminación e impacto secundario sobre el entorno próximo.
- El acondicionamiento adecuado del entorno para la revegetación y estabilización del medio físico.
- El mantenimiento de la función ecológica del hábitat afectado.
- El mantenimiento de los recursos existentes (caso de existir pesca o marisqueo).

De acuerdo con la magnitud de la propuesta, y las comprobaciones "*in situ*" del grado de afección y el estado ecológico de la zona, se establecerá la necesidad de una planificación y estudio más detallados, o bien la ejecución inmediata con las modificaciones que se establezcan sobre la propuesta.

7.2.2 Presencia de fuel en zonas próximas a turberas litorales

Existe un número importante de turberas litorales asociadas a humedales, que en caso de producirse un vertido, pueden llegar a confundirse con restos de hidrocarburo.

Por esto, es fundamental que se conozca por parte del personal de limpieza, la importancia científica de este carbón vegetal, y se mantenga un seguimiento de las turberas detectadas en la zona, y los posibles efectos secundarios del fuel sobre estas zonas. Para ello, recurriendo al



Perímetro de delimitación de la especie sensible *Chamaesyce pepilis*.

Plan de Formación del Personal, se alertará sobre la presencia de la turba, y la diferencia con el fuel. Asimismo se seguirá un protocolo de limpieza que permita un grado de selectividad importante para evitar su extracción.

7.2.3 Vegetación afectada en bordes fluviales o estuarios

La vegetación de porte herbáceo afectada en los bordes fluviales se recortará superficialmente, evitando la alteración del complejo raíz-suelo. Las masas de fuel que se desprendan hacia el cauce podrán, en todo caso, retirarse utilizando los medios manuales que menos disgreguen el suelo asociado a la raíz.

En el caso de que la contaminación impregne completamente el suelo, se podrá valorar la necesidad de retirada completa de la vegetación, incluida la retirada parcial o total de las raíces.

En estos casos, deberán estabilizarse los cauces, mediante la combinación de elementos biodegradables (p.e.: malla de fibra de coco, rollos de fibra, balas de paja autóctona, etc), tepes vegetales procedentes de la misma zona, semillas y suelo vegetal de las mismas características y procedencia que el retirado.

7.2.4 Zonas y estructuras de uso público

Bajo este concepto se incluyen áreas en las que se desarrollan actividades recreativas y elementos o estructuras de uso público:

- Merenderos anejos a las playas.
- Zonas de juego, próximas a las playas.
- Pasarelas de madera, sendas, en entornos fluviales, estuarinos, dunares, etc.
- Jardines, parterres, etc., anejos a las playas.

Habitualmente, en estas zonas, la vegetación existente es de origen antrópico, y aunque su principal cometido es el acondicionamiento estético y la garantía de la comodidad de un entorno próximo a la costa, en el que se desarrollan actividades lúdicas, en determinados casos también estabiliza el medio físico. Este es un ejemplo de zona en la que el valor estético prima sobre el mantenimiento de la función ecológica de la vegetación.

En cualquier caso, siempre deberá garantizarse la estabilidad de la playa tras la retirada de la vegetación afectada.

En estas zonas, deben plantearse los siguien-

Restauración de zona dunar mediante captadores de arena.



tes objetivos:

- Identificación y comunicación de las zonas afectadas: suelo, vegetación, infraestructuras y equipamiento urbano.
- Retirada de suelo, vegetación y otros residuos contaminados con fuel.
- Identificación y cuantificación de la necesidad de suelo vegetal preciso para la revegetación del ámbito.
- Limpieza de infraestructuras y equipamientos contaminados.
- La identificación del equipamiento dañado o contaminado, y limpieza del mismo (en los casos en que sea posible mediante métodos sencillos).
- Identificación de zonas de vegetación antrópica con función de protección del medio físico (bordes de cauces, taludes, etc.).

Las precauciones deberán ser planificadas de manera que, durante la ejecución de las actividades de limpieza, acopio y transporte de residuos, se evite:

- La desestabilización de taludes y cauces sensibles a la eliminación de vegetación.
- La contaminación secundaria.
- El daño, contaminación o desecho de estructuras recuperables o intactas.
- El daño, contaminación o eliminación de elementos de vegetación (especialmente sobre árboles y arbustos significativos –desde el punto de vista estético, de estabilización del sustrato y de comodidad de la población usuaria-).

7.2.5 Vegetación afectada en zonas de marisma o pantanosas

En las zonas de marisma contaminadas superficial o sub-superficialmente, muy sujetas al ritmo de las mareas y a su efecto, puede darse la circunstancia de que la vegetación de temporada crezca sobre el sedimento acumulado sobre la masa de contaminación.

Por otro lado, el fuel puede permanecer años en las marismas si no es retirado, ya que están protegidas de la acción directa del oleaje y, por lo tanto, la retirada natural está muy limitada.

Por esto, se requiere una actuación rápida y ordenada sobre este ecosistema.



Vegetación impregnada de fuel en zona marismal.

GUÍA 5

Restauración de una zona de tránsito provisional, utilizada durante las labores de limpieza.



Es importante subrayar la formación de los operarios asignados a la limpieza de marismas, debido a la necesidad de comprensión de la fragilidad de estos ecosistemas y la necesidad de reducir al mínimo el impacto posible sobre la fauna y la flora de las mismas.

1° Se eliminará la parte aérea de la vegetación en los sectores en que se observe esta circunstancia.

2° Se planificará, tras inspección del terreno, la actuación en cada zona;

1. Definición de la situación inicial (especies, densidades, poblaciones, etc.).

2. Establecimiento de zonas en las que podrá mantenerse la vegetación, mediante la retirada del fuel superficial.

3. Establecimiento de zonas en las que deberá eliminarse una cantidad de sedimento importante, y con éste, las raíces asociadas.

4. Definición de un protocolo de actuación: retirada completa de fuel y garantía de la posibilidad de recuperación ecológica.

5. Establecimiento de un plan de recogida y mantenimiento de sedimentos autóctonos, semillas, esquejes u otros propágulos de las especies presentes.

3° Se ejecutará lo planificado, de manera que se garantice:

- Que se retire completamente el fuel.

- Que no se varíe sensiblemente la cota del ámbito de trabajo.

- Que se conjugue la máxima sencillez en la extracción del residuo con el mínimo impacto al medio; particularmente debe evitarse la pérdida de la capacidad de recuperación natural del medio.

- Que se evite el depósito de residuos en la proximidad de los cauces y aguas superficiales o zonas de inundación.

- Que no se mezclen los residuos de fuel con los materiales limpios, especialmente los sedimentos que pueden contener semillas de las plantas autóctonas.

- Que se respeten las zonas en que se debe conservar la vegetación, por medio de señalización y vigilancia.

- Que se evite el uso innecesario de maquinaria de transporte, que pueda afectar a alguno de los elementos sensibles identificados.

- Que se evite, o bien se minore, la ocupación por los recipientes, útiles de limpieza, maquinaria, etc., en el ámbito de trabajo.

- Que se prevenga la posible contaminación secundaria producida durante las labores de limpieza; en caso de producirse, que se corrija.

- Que se identifiquen las especies de fauna afectadas que se observen durante la limpieza. En caso de necesidad, se podrán plantear medidas complementarias enfocadas a

la recuperación de las especies afectadas.

- Que, en caso de valorarse la posibilidad de aporte de materiales para la restauración y estabilización del medio físico, estos aportes tengan el mismo origen y naturaleza que los presentes.

7.2.6 Afección en sistemas dunares

Las dunas son ecosistemas extremadamente frágiles. El tránsito por ellas puede provocar el desmoronamiento de los taludes. En este sentido, la vegetación de una duna, independientemente de los valores específicos de las poblaciones que la forman, sea por su singularidad, rareza o estatus de protección, constituye un bien que se ha de conservar, dado que actúan como factor estructural del medio físico y del hábitat que éste sostiene, además de ser difícil y costosa su recuperación. Por todo ello, es particularmente importante cumplir rigurosamente un protocolo de trabajo que deben asumir y comprender todos los operarios implicados en esta tarea. En dicho protocolo deben figurar los siguientes puntos:

- Se incidirá en la formación específica de los operarios destinados a desempeñar su labor en sistemas dunares. Particularmente se explicará la importancia de la flora en estos sistemas.
- Se impedirá el tránsito de personas, vehículos y maquinaria a través de las dunas.
- Se realizará una limpieza manual de los individuos afectados.
- Se señalizará la zona de trabajo, indicando claramente el frente de trabajo y el sentido de avance.
- Los contenedores y los depósitos de fuel se ubicarán fuera del ámbito de la duna, y de su área de influencia.
- La limpieza de un arenal que se extiende a lo largo del sistema Duna – Playa, obligará al balizamiento de la duna en su vertiente barlovento para que el tránsito de la maquinaria pesada por la playa (en caso de estricta necesidad), respete la distancia crítica para impedir la afección del corazón de la duna.
- Se señalizará un acceso único.
- Se asignará un número de personas limitado al trabajo, que asegure la mayor eficiencia y el menor impacto secundario por movimiento de personas sobre las dunas.

Protección
de la especie
amenazada
Rumex rupestris.



GUÍA 5

- Se planificarán los traslados de residuos, de manera que se minimice en lo posible el número de recorridos, garantizando la nula contaminación secundaria durante la actividad; prohibiendo el paso de maquinaria sobre las dunas.
- Planificar los acopios y depósitos de residuos, de manera que se minore la ocupación de superficie sobre las dunas, excluyendo la ubicación de contenedores pesados sobre las mismas.

• a) **Zona ocupada por ejemplares completamente afectados**

En estas zonas, deberá realizarse la retirada completa de individuos, incluido el sedimento afectado. Esto se hará de manera manual, para evitar la extracción innecesaria o poco selectiva de material.

Durante esta retirada, se podrá establecer un plan que permita la recolección de semillas, propágulos o individuos, que por su adecuado estado, puedan servir para la revegetación o la realización de siembras.

Previamente, se realizará una estimación de la densidad de individuos (si es necesario en base a zonas semejantes próximas), así como una indicación de la calidad del sedimento en que se encuentran. De esto se guardará registro, acompañado de fotografías, y deberá utilizarse para el dimensionamiento y diseño de las medidas complementarias de regeneración que sean necesarias.

En aquellos casos en que se prevé que la retirada de vegetación pueda ocasionar la disgregación y pérdida (parcial o completa) de la estructura de la duna, deberán adecuarse los elementos de contención que sean necesarios, para evitar este efecto; sea vertido de materiales, mallas, captadores de arena, etc.

Esto podrá tener lugar en puntos de la duna en pendiente, dunas en contacto con estuarios o cauces, o en dunas afectadas por la propia actividad del mar.

• b) **Afección parcial de los individuos de una zona más o menos amplia**

La contaminación se puede distribuir en el suelo, sobre materiales inertes y sobre la vegetación.

En estas zonas, deberá evitarse la retirada completa de individuos, en la medida que sea posible, para lo cual, se eliminará la contaminación de manera superficial, retirando los materiales inertes con fuel adherido, y los residuos de fuel de los sedimentos, evitando en todo caso, afectar a la relación de las raíces con éstos.

Detalle de vegetación dunar afectada.



La parte vegetativa afectada deberá ser recortada de la manera más eficiente, garantizando, con la técnica empleada, que el resto del individuo sea viable, continúe cumpliendo su función estructural en el hábitat y constituya un posible punto de propagación.

Se deberá evitar la eliminación de las partes leñosas, o de las partes cuya eliminación pueda ocasionar la pérdida prematura de los individuos. En caso de necesidad, para la eliminación de la contaminación, deberá respetarse si es posible la permanencia, al menos, del sistema radicular.

7.3 Contaminación de zonas rocosas

Se hace referencia a la vegetación afectada situada en zonas de acantilado o áreas rocosas de difícil acceso a causa de la topografía, en las que se hace necesaria la aplicación de técnicas de descontaminación específicas.

En estos casos, aparte de la singularidad, carácter endémico o regimenes de protección de las especies o comunidades presentes, existe otro factor que hace necesaria la conservación de los valores presentes, que es el carácter estructural del medio físico.

En los casos en los que se haga necesaria la retirada parcial o total de la vegetación, dada la inaccesibilidad del terreno, ésta se efectuará de modo manual, utilizando herramientas apropiadas para el corte, con mangos más o menos largos en función de la proximidad de los pies afectados.

En el caso de no poder alcanzar la vegetación mediante esta técnica, se emplearán arneses de seguridad anclados previamente en lo alto del acantilado o rocas en pendiente.

Se evitará el uso de rastrillos u otras herramientas de arrastre que causen la pérdida de raíz de la vegetación (habitualmente vivaz y en muchos casos lignificada) contribuyendo a la erosión.

Como precauciones a la aplicación de esta técnica, deberán cumplirse las medidas siguientes:

- Siempre que sea posible se balizará el área de actuación.
- Se establecerá y señalizará un acceso único.

Se definirá un sentido de avance desde las zonas más distantes al acceso a las más próximas, preferentemente de arriba hacia abajo. De esta manera la última tarea será la descontaminación de los accesos y zonas de mayor tránsito, evitando afecciones secundarias a zonas previamente descontaminadas.



Afectación de vegetación de borde rocoso.

GUÍA 5

- Se asignará un equipo de personas que asegure:
 - El mayor control a nivel de seguridad durante las acciones.
 - El cumplimiento de los objetivos previstos.
 - La mayor eficiencia en el uso de los recursos.
 - El menor tránsito de personas por las zonas más sensibles.
- Se planificará la retirada de residuos a fin de optimizar dicha actividad y evitar:
 - Las condiciones de riesgo para los trabajadores.
 - Las afecciones indirectas sobre los elementos sensibles del medio.
- Se buscará que las zonas de acopio de residuos sean próximas y accesibles, evitando la posibilidad de afecciones secundarias debidas al tránsito de maquinaria y/o personal.

7.4 Vegetación y estructuras afectadas secundariamente por las tareas de limpieza

Puede suceder que las labores de limpieza dañen determinadas zonas. Muchas de ellas se regenerarán de manera espontánea, otras precisan de actuaciones complementarias para su recuperación, debido a que pierden alguna de sus características más representativas, o bien se desestabilizan.

7.4.1 Dunas inestables

Las zonas inestables de las dunas, suelen estar en el frente dunar que enmarca la playa seca.

La inestabilidad está ocasionada, generalmente por la pérdida de material, en muchos casos como consecuencia secundaria de la afección a la vegetación; para su recuperación se pueden plantear las siguientes opciones:

- Implantación de captadores pasivos de mimbre.

La localización en zonas venteadas de estos captadores, de manera combinada o no con la implantación de *Ammophila arenaria*, o bien otras especies adecuadas, recuperará los volúmenes de arena que se hayan desestabilizado.

- Vertido de arena.

El desplazamiento de sedimentos procedentes de la playa hacia la zona desestabilizada, de manera indirecta estabilizará el talud, lo cual permitirá:

1. Detención del proceso erosivo y destrucción de la duna.

Restauración de zona dunar con residuos atomizados.



2. Recolonización de la zona afectada por las poblaciones próximas.

Como actuación complementaria a esta actuación, se podrá proponer la realización de plantaciones, siembras y otras técnicas de aceleración de la propagación de las poblaciones vegetales.

7.4.2 Roderas de maquinaria, vehículos y otras zonas afectadas

En el caso de que existan zonas afectadas por las roderas de la maquinaria, éstas deberán recuperarse, de acuerdo con tres fases:

● **Recuperación morfológica y sedimentaria**

Se ejecutará el relleno de la zona en la que se haya desplazado el sustrato, utilizando los materiales de la misma procedencia y naturaleza de los que lo rodean.

En caso de que el sustrato se haya endurecido por compresión de las ruedas de los vehículos y la maquinaria, se podrá ablandar previamente con herramientas manuales.

Siempre se procederá a la recuperación desde la zona más distante del acceso hasta el inicio del acceso, de manera que se evite el paso durante la operación por zonas ya restauradas.

● **Limitación de accesos**

Se hará en aquellas zonas en las que, de acuerdo con la planificación de esta fase de limpieza, no estén incluidas en los viarios precisos para el movimiento de las personas y de la maquinaria. En zonas sensibles, se pondrán, en todo caso, limitaciones físicas al paso de la maquinaria y los vehículos. Asimismo se indicará por medio de carteles específicos.

● **Propuesta de revegetación con las especies presentes**

Como complemento, se podrá establecer, en aquellas zonas en las que se prevea difícil la recuperación, un plan sencillo de revegetación basado en la utilización de propágulos, plantas, esquejes, o siembras, que permita una colonización inicial de la vegetación.

Restauración de campo dunar, deteriorado por los trabajos de limpieza, y retirada de un camino provisional.



Tabla N°1

ANEXO
Fichas para la identificación y caracterización de las zonas afectadas

IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA¹		Vegetación (especies características de los hábitats antes mencionados)	
Código de playa:		<input type="checkbox"/> <i>Chamaesyce pepilis</i>	<input type="checkbox"/> <i>Juncus maritimus</i>
Zona:		<input type="checkbox"/> <i>Honkenya peploides</i>	<input type="checkbox"/> <i>Typha latifolia</i>
Municipio:		<input type="checkbox"/> <i>Elymus farctus</i>	<input type="checkbox"/> <i>Phragmites australis</i>
Libro de referencia		<input type="checkbox"/> <i>Ammophila arenaria</i>	<input type="checkbox"/> <i>Rumex rupestris</i>
UTM X		<input type="checkbox"/> <i>Corema album</i>	<input type="checkbox"/> <i>Ornithoglossum littorale</i>
UTM Y		<input type="checkbox"/> <i>Puccinella sp.</i>	<input type="checkbox"/> <i>Salicornia sp.</i>
Código de borde afectado		Otras especies (definir)	
Nombre de la playa más próxima			
Nombre de lugar			
INFORMACIÓN AMBIENTAL RELATIVA A LA ZONA²		Especies de vertebrados significativos	
Hábitat de la zona afectada		Aves	
<input type="checkbox"/> Playa	<input type="checkbox"/> Humedales de influencia salina	Reptiles	
<input type="checkbox"/> Frente dunar	<input type="checkbox"/> Humedales	Peces	
<input type="checkbox"/> Dunas móviles	<input type="checkbox"/> Cauce de río	Mamíferos	
<input type="checkbox"/> Dunas fijas	<input type="checkbox"/> Jardín urbano/Paseos/ Parques	Anfibios	
Notas:-		Otras especies (definir):	
Régimen de protección		Medios de transporte y accesibilidad	
<input type="checkbox"/> Red Natura 2000	<input type="checkbox"/> Zepa	CLASE DE VEHICULO	ACCESIBILIDAD
<input type="checkbox"/> Parque Natural	<input type="checkbox"/> Parque Nacional	TURISMOS	SENSIBILIDAD
<input type="checkbox"/> Ramsar	<input type="checkbox"/> Protección local	CAMIONES	
Notas:-		HELICÓPTERO	
		BARCO	
		OTROS (indicar)	
		TIPO ACCESIBILIDAD ⁴	

³ Deben considerarse las especies presentes que puedan ser más sensibles a la actuación de limpieza y a la contaminación; en el croquis se indicarán las zonas en las que pueda adscribirse la sensibilidad

⁴ Mencionar las características del acceso, con vistas a la retirada de material residual, las restricciones que la sensibilidad pueda imponer y las necesidades que se imponen

¹ A cubrir inicialmente por el biólogo responsable de cada Zona afectada

² A cubrir inicialmente por el biólogo responsable de cada Zona afectada

Tabla N°2

<p>Régimen de mareas ⁵</p>	<p>Estafo del contaminante ⁸</p> <p><input type="checkbox"/> Fresco <input type="checkbox"/> Intemperizado</p> <p><input type="checkbox"/> Mezclado con sedimento <input type="checkbox"/> No mezclado con sedimento</p> <p>Notas:</p>
<p>Caracterización del estado del contaminante⁶</p> <p><input type="checkbox"/> Grumos (<1cm)</p> <p><input type="checkbox"/> Bolitas (de 1 a 5 cm)</p> <p><input type="checkbox"/> Galletas (de 5 a 20 cm)</p> <p><input type="checkbox"/> Placa continua (>50 cm)</p> <p>Notas:</p>	<p>Superficie afectada ⁹</p> <p>Superficie afectada (m²)</p> <p>% medio de superficie afectada que presentan las plantas</p> <p>% Contaminación en zona:</p> <p>Notas:</p>
<p>Caracterización vertical⁷</p> <p><input type="checkbox"/> Afección en profundidad <input type="checkbox"/> Afección superficial</p> <p>Notas:</p>	<p>Estado de las plantas</p> <p><input type="checkbox"/> Intactas (aparentemente) <input type="checkbox"/> Parcialmente defoliadas</p> <p><input type="checkbox"/> Totalmente defoliadas <input type="checkbox"/> Muertas</p> <p>Notas:</p>

⁵ Indicar las posibles incidencias que sobre las tareas de limpieza puede causar las mareas y los movimientos de sedimentos que pueden tener lugar debido a éstas.

⁶ Indicar en el croquis

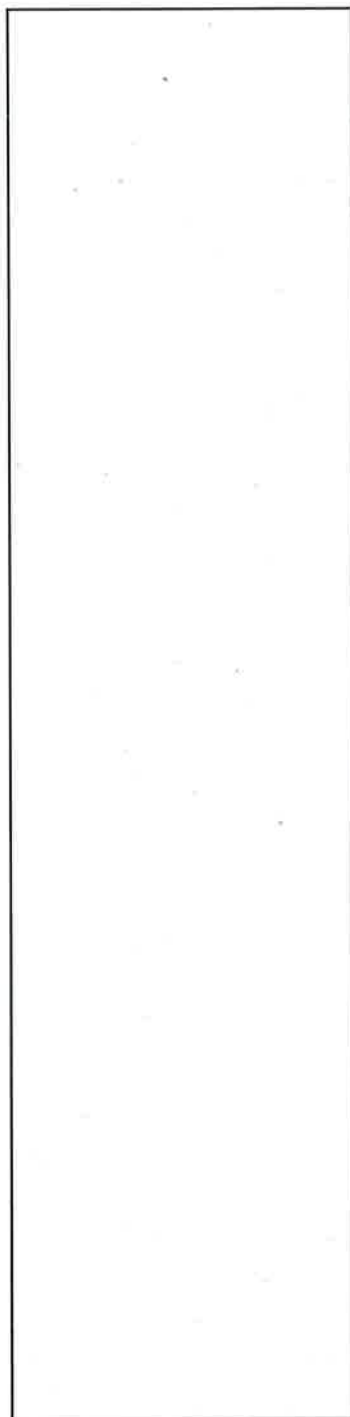
⁷ Indicar en el croquis

⁸ Indicar en el croquis

⁹ Indicar en el croquis

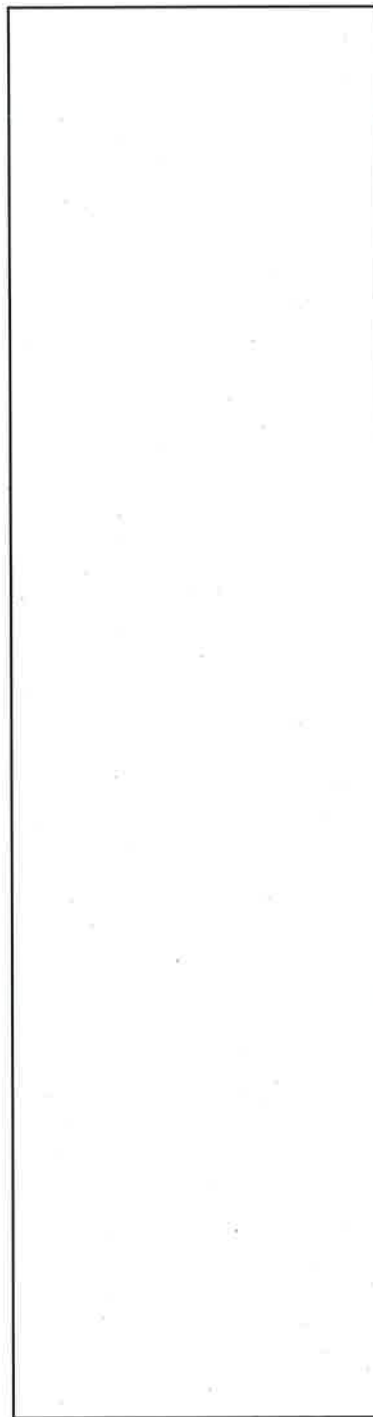
Tabla N°3

OBSERVACIONES¹⁰:



¹⁰ Deberá incluirse la información adicional o las consideraciones precisas de forma sistemática.

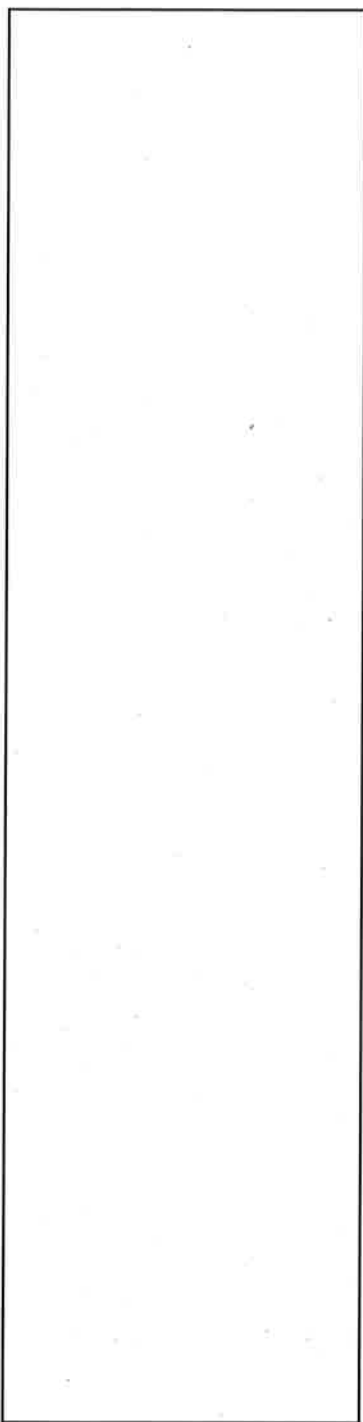
CROQUIS¹¹:



¹¹ Si es necesario, para permitir una mejor legibilidad, realicé un croquis temático basado en el mismo dibujo.

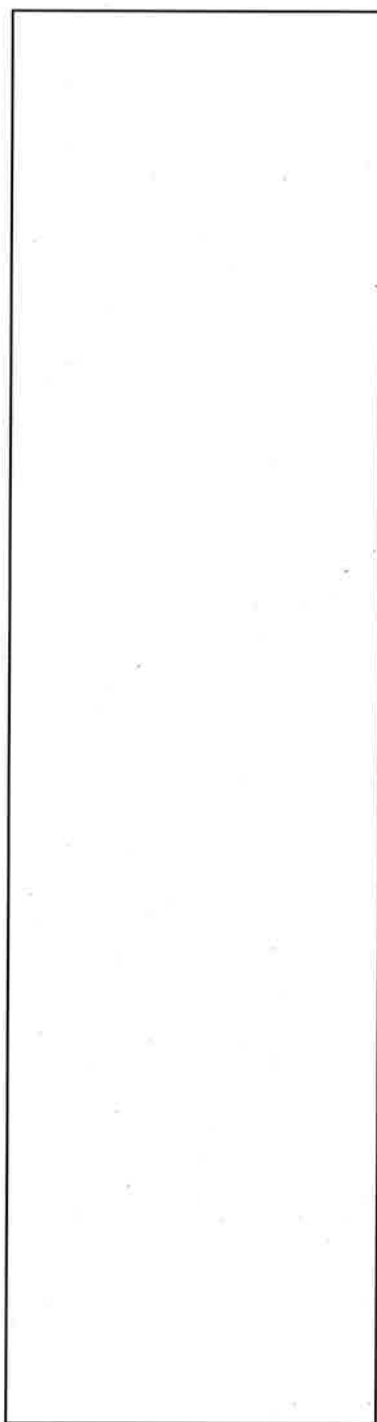
Tabla N°4

FOTOGRAFÍAS¹²:



¹² Adjuntar además de las 10-15 fotografías más relevantes, un CD con fotografías que ilustren el ámbito afectado, herramientas aplicables y metodologías.

FOTOGRAFÍA AÉREA (ORTOFOTO)¹³:



¹³ Se deberá señalar sobre la fotografía las referencias básicas para la relación con el croquis.

GUÍA

6

Procedimiento para la limpieza de playas de cantos y bolos

▶▶ 1. OBJETIVOS Y CONSIDERACIONES GENERALES

El presente procedimiento tiene como objetivo establecer unas pautas metodológicas de actuaciones urgentes en la limpieza de playas de cantos (denominadas también, según los ámbitos geográficos, coídos, boleiras, pedreros, kantal-hondartza, playas de callaos, platges de còdols,...), ante un futuro e hipotético vertido de hidrocarburos en la costa.

Es importante diferenciar previamente los conceptos de limpieza y descontaminación de una zona afectada por un vertido. Las actuaciones a las que se refiere este capítulo no están encaminadas hacia la descontaminación. Lo que se busca es conseguir un grado aceptable de limpieza, retirando la mayor cantidad de fuel posible, para favorecer y acelerar la posterior regeneración natural de la zona afectada.

Tras un vertido de hidrocarburo, son muchos y variados los factores que intervienen en la contaminación y posterior limpieza de un tramo de costa. Quizás, el principal factor de variación sea el tipo de contaminante derramado, que condiciona sus posibles efectos negativos sobre los diferentes hábitat costeros, influyendo también en el impacto de las labores de limpieza que se realicen.

Otro de los factores condicionantes es el tipo de hábitat afectado, ya que los impactos del vertido y los de las posteriores actuaciones de limpieza variarán según sea el tipo de ecosistema costero. La elección de la metodología de limpieza de las playas de cantos es una decisión compleja en la que hay que considerar un gran número de variables, resultando vital para la conservación de estos espacios naturales tan singulares.

Esta guía pretende servir de ayuda en la toma de decisiones, tratando de integrar todas las posi-

Ejemplo de zona activa.





GUÍA 6

bles variables, aportando experiencias y recomendaciones adquiridas en distintas actuaciones, como complemento a la numerosa documentación existente sobre la limpieza de vertidos de hidrocarburos en el ámbito costero.

En el capítulo segundo se resalta el valor geomorfológico y ambiental de estos sistemas costeros, así como los posibles efectos de un vertido.

En el capítulo tercero, se describen los diferentes métodos de limpieza de las playas de cantos que han sido utilizados, en mayor o menor medida, en recientes vertidos ocurridos en las costas españolas.

Es necesario recordar que cada zona de trabajo presenta unas características diferenciadas, lo que implica una forma de actuación específica, no siempre válida para otras zonas similares. A fin de facilitar la elección del mejor método de limpieza para cada playa de bolos y minimizar los impactos de los trabajos sobre el medio, a partir del capítulo cuarto se expone un protocolo de actuación y unas recomendaciones de trabajo.

Para la elaboración de esta guía se ha consultado la documentación procedente de diversos organismos internacionales, como el CEDRE (Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentations sur les Pollutions Accidentelles des Eaux), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration - U.S. Department of Commerce), EPA (U.S. Environmental Protection Agency), Alaska Department of Environmental Conservation - Division of Spill Prevention and Response, ITOPF (International Tanker Owners Pollution Federation Limited), o IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association), entre otros.

Asimismo, también queda patente en este documento la experiencia acumulada tras el vertido del Prestige, reflejada en numerosos informes y protocolos específicos de trabajo del Ministerio de Medio Ambiente, informes y estudios del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y diversos departamentos universitarios españoles, así como informes elaborados por distintas ONG.



▶▶ 2. LAS PLAYAS DE CANTOS Y BOLOS

2.1 Valor geomorfológico y ambiental

Las playas de cantos son un tipo de formación geomorfológica litoral que aparece en innumerables tramos de la costa.

Estos depósitos marinos, formados por acumulación de cantos o bloques redondeados, son característicos de playas de alta energía, y se consideran puntos de interés geomorfológico.

Pueden recibir numerosas denominaciones, como playas de cantos, playas de grava o playas de guijarros. Aunque también en Galicia se llaman coídos, cantís o boleiras, en Asturias y Cantabria se conocen como pedreros, en el País Vasco harri-hondartza (kantal-hondartza), en Canarias playa de callaos y en Cataluña platges de còdols (codolars litorals).

Estas formaciones rocosas pueden ser muy escarpadas, con múltiples bermas de oleaje formadas en la parte superior de la playa. El grado de exposición a la energía de las olas puede variar considerablemente en las diferentes playas de grava o cantos, distinguiéndose así aquellas zonas activas (con elevada tasa de energía del oleaje) de las zonas inactivas (con baja tasa de energía del oleaje).

En las zonas activas, donde la energía del oleaje sobre las rocas es muy alta, se acumulan piedras muy redondeadas, de tamaños y formas homogéneas, guardando cierto orden de tamaño. Son áreas que están sometidas a un ambiente inestable en virtud de las condiciones del mar (oleaje, temporales, etc.), y por lo tanto a situaciones cambiantes, aunque se pueden intercalar periodos de inactividad.

Las zonas inactivas, donde la energía del mar es mucho menor, por ejemplo playas de cantos o partes de ellas situados por detrás de la rompiente del mar, responden a un periodo de formación más antiguo, de hasta 120.000 años, cuan-



1. Ejemplo de zona inactiva.

2. Zonas de borde rocoso con elevadas concentraciones de fuel.

3. Vista general de balsas de fuel tapizando los bolos.

GUÍA 6

do el mar y las olas desgastaban directamente estas zonas. Tienen materiales de tamaño y forma heterogénea, menos clasificados, que se caracterizan por sus formas angulosas. Este tipo de playas está sometido a condiciones poco cambiantes, aunque eventualmente puedan sufrir la influencia de fuertes temporales, que difícilmente llegan a mover los grandes cantos.

Este ambiente de estabilidad favorece la aparición de comunidades biológicas de la zona mesolitoral alta (zona que se ve inundada sólo con mareas vivas), y también en zonas del supralitoral, con aparición de numerosos líquenes y plantas. En ellas se localizan hábitats que figuran en el Anexo I de la Directiva Hábitat (Hábitat Naturales de Interés Comunitario), así como la vegetación asociada a estas formaciones geomorfológicas.

Aunque la densidad de animales y plantas en las playas de cantos expuestas en la zona intermareal es escasa, puede llegar a ser alta en las playas inactivas, y en la zona intermareal baja de todas ellas. Muchas presentan poblaciones de especies vegetales singulares, amenazadas o, incluso, en peligro de extinción (*Rumex rupestris*, *Chamaesyce peplis*, *Omphalodes littoralis*, etc.). Otras pueden encontrarse en las proximidades de zonas donde anida avifauna amenazada (*Charadrius alexandrinus*); siendo en definitiva, uno de los sistemas de la costa atlántica mejor conservados de toda Europa.

Por último, es necesario destacar y transmitir a los equipos de limpieza, la importancia de la conservación de estas playas de cantos, pues tienen un gran valor científico y cultural, dada su geomorfología y su belleza paisajística siendo fundamental, por todo ello, conservar la estructura original de la playa en cuanto a la disposición de los materiales y la conformación de la misma.

Limpieza manual de una playa de bolos.



2.2 Los efectos de un vertido

Las playas de bolos presentan una serie de características que favorecen la acumulación y persistencia del petróleo. Su elevada porosidad permite que el fuel fresco pueda filtrarse rápidamente hasta profundidades relativamente grandes, y penetrar en los sedimentos arenosos más finos, complicando enormemente las tareas de limpieza. Mientras que las capas más superficiales de estas playas presentan un aspecto limpio, la presencia de fuel en el sedimento inferior se puede extender en el tiempo.

En la plataforma rocosa, las playas de bolos y la costa acantilada, la parte inferior y más batida estará libre de hidrocarburo por la acción del oleaje pero, la parte superior, al estar poco expuesta a la acción del mar, será sensible a recibir las proyecciones del

material contaminante.

La capacidad de limpieza natural de las capas superficiales de las playas de bolos, está limitada por la capacidad de abrasión y la energía del oleaje para remover estos depósitos. Así, en las zonas donde el tamaño de bolos es menor y/o estos depósitos se encuentran mezclados con arenas, la fricción puede potenciar la eliminación de las manchas de fuel. Por otra parte, debido a que este tipo de playas suelen tener un perfil irregular, la persistencia del residuo puede ser corta en las zonas abiertamente expuestas al oleaje pero, en otras áreas donde la energía de las olas llega muy disipada (zonas inactivas), o donde el fuel se ha filtrado hacia los sedimentos más finos, su permanencia puede prolongarse considerablemente.

En las zonas activas de estas playas, fuertemente batidas por el oleaje, se puede considerar, una vez retiradas las acumulaciones del contaminante, que la energía del mar posibilite su limpieza natural.

▶▶ 3. MÉTODOS ALTERNATIVOS DE LIMPIEZA

En este apartado se describen distintos métodos que se pueden utilizar en la retirada de fuel de las playas de cantos. Comprenden propuestas con distinto grado de intervención y con soluciones en espacios temporales variables.

Dada la gran variedad de entornos de estas características, con distinta geomorfología y accesibilidad y diferentes condiciones de dinámica marina y valor paisajístico, la elección de un determinado método de limpieza se debe realizar tras ponderar todos los condicionantes.

3.1 Acción del mar y su energía

En acantilados rocosos con poca acumulación de sedimentos y muy expuestos a la acción del oleaje, puede ser aconsejable no realizar ningún tipo de limpieza. Estas zonas, con una elevada tasa de recuperación natural, presentan una escarpada y estrecha zona intermareal, con desniveles superiores a 30°, lo que imposibilita el acceso de maquinaria y contenedores para retirar el residuo, y hace extremadamente peligroso el acceso del personal de limpieza.

En estos entornos se puede optar por no realizar actuación alguna, esperando que la acción del mar sea suficiente para su descontaminación parcial. Generalmente, durante los primeros meses, posteriores a la llegada del fuel, estas zonas permanecen impregnadas, sobre todo las partes intermareales altas y supramareales. Sin embargo,



Vista del fuel sobre el sustrato de la playa.

GUÍA 6

en meses posteriores, y debido a la elevada tasa de limpieza natural que caracteriza a los acantilados, la mayor parte del fuel se desprende y removiliza por acción de los fuertes oleajes. Pasado los meses invernales, algunas partes supramareales pueden mantener todavía restos de las fracciones más pesadas del residuo que, el mar y el tiempo, se encargarán de degradar.

3.2 Recogida mecánica directa

La recogida mecánica con maquinaria es un método que se puede utilizar en zonas con gran acumulación y espesor de hidrocarburos. Este método puede llegar a ser muy útil en entrantes en zonas rocosas que presentan una elevación de pocos metros sobre el nivel del mar de manera que sea relativamente sencillo el acceso para el personal y maquinaria de limpieza.

3.2.1 Uso de Skimmers

Se trata de un método alternativo para utilizar en la recogida de acumulaciones de fuel en zonas resguardadas. Se puede usar cuando la viscosidad del hidrocarburo resulte apropiada para el buen funcionamiento de estas máquinas, adecuando, en todo caso, las disponibilidades del mercado a las características del vertido.

No resulta un procedimiento idóneo en caso de hidrocarburos de alta viscosidad, ni con material emulsionado o envejecido.

3.2.2 Uso de maquinaria de movimiento de graneles

En determinadas circunstancias es posible retirar un hidrocarburo viscoso

1. Estado de una playa con grandes cantidades de fuel.

2. Voluntarios limpiando fuel en una playa de cantos.



por medio de maquinaria para, posteriormente, verterlo en contenedores o en camiones bañera.

Los cazos de las máquinas recogen el fuel directamente del medio y lo depositan en contenedores, que pueden actuar como depósitos intermedios para, posteriormente, cargarlo en camiones bañera convenientemente sellados, que lo trasladen a la planta de tratamiento de residuos peligrosos.

Una vez que la disminución de la cantidad de residuo reduzca la eficacia de la mecanización, se puede continuar con la limpieza manual, incluyendo trabajos en el borde vegetal afectado, localización de capas profundas, hidrolimpieza, trabajos de aceleración de procesos naturales mediante el desplazamiento de bolos a la zona de rompiente de las olas, bioestimulación con aplicación de nutrientes oleofílicos y, si fuese necesario, restauración de los accesos abiertos para la maquinaria de limpieza, revegetando la zona afectada por la apertura de estos caminos.

3.3 Limpieza manual

Se trata del método más utilizado para la limpieza de playas de cantos afectados por los vertidos de hidrocarburos, siendo el sistema más efectivo en cuanto a la retirada de fuel de las playas de bolos y uno de los métodos con menor impacto ambiental sobre el medio, requiriendo la participación de una gran cantidad de personal (ver guía N°1).

En líneas generales, la mayoría de estos trabajos se pueden realizar en playas de cantos que presenten unas condiciones adecuadas de accesibilidad. Tam-

3. Cadena humana para extracción de capazos con fuel.

4. Otro ejemplo de cadena humana para extracción de capazos con fuel.



GUÍA 6

bién es posible limpiar manualmente algunas playas de bolos de difícil accesibilidad o peligrosas, mediante cuadrillas de especialistas o colectivos conocedores de las costas afectadas, como es el caso de mariscadores y pescadores.

La recogida del fuel se realiza manualmente, o bien con la ayuda de paletas, espátulas y zapas-pico ("zapapalas"). El objetivo es retirar el mayor volumen de residuo posible de la superficie de los bolos así como de los embolsamientos que se forman entre ellos. El fuel retirado se acumulará en capazos o en sacos de plástico que, posteriormente, se vaciarán en contenedores metálicos o sacos big-bag, situados en las inmediaciones de la zona de trabajo.

En muchos casos, será necesario formar cadenas humanas para subir los capazos o los sacos llenos de fuel hasta el lugar donde se encuentren ubicados los contenedores metálicos o los sacos de gran capacidad. También se pueden utilizar sistemas de poleas y "tirolinas" para extraer capazos y sacos de plástico en pedreros de gran pendiente.

Una vez concluida esta primera y más urgente limpieza, se deberá retirar el fuel de aquellas playas que presenten acumulaciones bajo las piedras (contaminación profunda, fuel percolado) Esta segunda fase de limpieza se llevará a cabo con la ayuda de palancas metálicas y, en algunas zonas, con el apoyo de maquinaria ligera (miniretroexcavadoras, maquinillos oruga, etc.).

En otros casos, y tras consultar a especialistas en geomorfología que supervisarán los trabajos, se puede recurrir a la ayuda de maquinaria para mover las rocas y bolos más pesados, facilitando así los trabajos manuales al personal de limpieza.

En estos espacios es de gran importancia el transporte de los contenedores metálicos y sacos big-bag con el residuo. Los métodos y maquinaria utilizados para este fin variarán en función de las características de accesibilidad de cada

1. Trabajo manual en una playa de cantos.

2. Vista de trabajos de limpieza en una playa de cantos



uno de los entornos de trabajo. Donde sea posible, los camiones de transporte accederán directamente hasta el lugar de ubicación de los contenedores para proceder a su traslado. En zonas de difícil acceso para los medios terrestres, será necesario utilizar helicópteros para transportar el residuo hasta las zonas de transferencia.

En casos concretos, por tratarse de zonas contaminadas con grandes cantidades de fuel, y a fin de permitir una mejor y más rápida retirada del residuo, se podrá valorar la apertura de pistas provisionales que faciliten el paso de maquinaria para el transporte de los contenedores.

El impacto que provoca esta apertura de accesos, debe contar con sus correspondientes medidas correctoras. Una vez terminados los trabajos más intensos, se procederá a la restauración mediante la retirada de las pistas y la recuperación de los perfiles originales de los taludes, de su geomorfología, y también llevar a cabo la revegetación pertinente.

3.4 Proceso de elaboración de una balsa para reblandecimiento de cantos e hidrolimpieza posterior

Como actuación previa se debe actuar manualmente en la zona, de forma que la cantidad de residuo que presente la playa se reduzca a una fina película en la superficie de los bolos.

El método consiste en sumergir en agua de mar los bolos impregnados con la finalidad de que la capa de fuel se hidrate y reblandezca, facilitando su desprendimiento al aplicar posteriormente técnicas de hidrolimpieza.

Para ello, se pueden construir estructuras en forma de balsas aprovechando la pendiente natural del terreno, las rocas encajantes y los propios bolos. De

3. Helicóptero transportando contenedores provenientes de una playa de difícil acceso.

4. Vista general de un borde rocoso con difícil acceso.



GUÍA **6**

esta forma se impide la erosión del sustrato arenoso al no permanecer desprotegido frente a la acción del oleaje.

Como en casos anteriores, la supervisión de los trabajos deberá ser realizada por especialistas.

El proceso de construcción de las balsas se resume en los siguientes pasos (ver sucesión de fotografías):

- Estudio de ubicación en terrazas en la franja supralitoral y replanteo apoyándose en estructuras naturales.
- Retirada de los cantos rodados, manualmente o con ayuda de maquinaria ligera, evitando dañar el horizonte arenoso sobre el que se asientan.
- Construcción de las paredes de la balsa, apoyándose en la roca encajante y usando los propios bolos.
- Impermeabilización con una capa de polietileno semirígido de 1,5 mm. de espesor, recubierto posteriormente con plástico negro, sobre lo que se añade una tercera capa de geotextil de 120 gr/m².
- Llenado de la balsa con el material impregnado de fuel usando la retrocargadora y extendido manual de cantos para nivelar la superficie.
- Bombeo de agua marina hasta sumergir completamente los bolos. Para los cantos mayores, en algunas zonas se podrán usar contenedores de, aproximadamente, 5 m³ de capacidad.

Varios meses después, se podrán iniciar las operaciones de hidrolimpieza. Estos trabajos se realizan directamente sobre las balsas, que se irán desmantelando a medida que se limpian los bolos. En el caso de los bolos sumergidos en contenedores metálicos, la hidrolimpieza se realizará colocándolos sobre parrillas metálicas.

Página derecha:
Proceso de elaboración de una balsa para reblandecimiento de cantos e hidrolimpieza posterior.

1. Estado inicial de la zona afectada.

2. Construcción de las paredes de la balsa con bolos.

3. Colocación de forrado de plástico.

4. Una vez terminada la balsa se introducen los cantos y se rellenan con agua.

5. Hidrolimpieza sobre los cantos reblandecidos.

6. Recolocación de bolos limpios.



Ejemplo de playa con fuel percolado en el sustrato.



Limpieza manual en playa con ayuda de maquinaria.

PROCEDIMIENTO PARA LA LIMPIEZA DE PLAYAS DE CANTOS Y BOLOS



GUÍA **6**

Página derecha:
Elaboración de una balsa con adición de nutrientes.

1. Vista general de playa afectada.

2. Construcción de las paredes de la balsa con bolos.

3. Colocación de plástico y geotextil.

4. Balsa ya rematada.

5. Colocación de un sistema de aireación.

6. Adición de nutrientes.



Limpieza manual de fuel en playa de cantos.

El agua residual del fondo de balsas y contenedores, con un contenido muy elevado en fuel, deberá bombearse a una cisterna que traslade el residuo al gestor autorizado correspondiente. Por último, se retiran los geotextiles y plásticos y, de forma manual, o con ayuda de una retrocargadora, se recolocarán los bolos limpios, tratando de reconstruir lo más fielmente posible la estructura original de la playa de cantos.

3.5 Elaboración de una balsa con adición de nutrientes

Este es un método variante del anterior basado en la bioestimulación bacteriana.

Una vez realizada la actuación manual del hidrocarburo que recubre los bolos y se acumula entre los mismos, se construyen balsas según el procedimiento descrito en el apartado anterior, introduciendo los bolos e inundándolos con agua de mar. En este caso se le adicionan los nutrientes (base de nitrógeno y fósforo acompañados de oligoelementos), con el fin de estimular y acelerar la acción degradante de las bacterias petroleolíticas presentes en el medio.

Con este procedimiento se consigue acelerar la degradación y el reblandecimiento, con el fin de reducir el tiempo de aplicación de otros métodos mecánicos.

3.6 Desplazamiento de bolos hacia la zona de rompiente del oleaje

En algunas actuaciones, se trasladan los bolos impregnados de fuel hacia la zona de rompiente del oleaje a fin de acelerar su proceso natural de lavado. Este desplazamiento de bolos puede ser aconsejable en aquellas playas de cantos que presenten una gran tasa de recuperación natural, es decir, aquellas en las que el poder de lavado del mar sea elevado, y en las que el tamaño medio de los bolos desplazados no exceda, en términos generales, de los 50 cm. de diámetro.

Si al desplazar los bolos superficiales existe riesgo de erosión en la base de la playa, será necesario realizar la sustitución de bolos impregnados por otros limpios de similares dimensiones procedentes de la zona intermareal de la playa. Si el sustrato no es erosionable, se puede obviar la sustitución, de forma que la energía del oleaje reconstruya el perfil de equilibrio de la playa.

PROCEDIMIENTO PARA LA LIMPIEZA DE PLAYAS DE CANTOS Y BOLOS



GUÍA 6

Metodología de desplazamiento de bolos a la zona de rompiente

1. Vista general de la playa inactiva afectada por fuel.
2. Transporte de bolos con oruquillas hacia la línea de rompiente del oleaje.
3. Lavado de los bolos por acción del oleaje.
4. Vista general de la playa tras la actuación.

3.6.1 Desplazamiento manual de bolos a la zona de rompiente, sin sustitución de bolos

En líneas generales, este método se podrá emplear en playas de reducida extensión, de marcado carácter activo, difícil acceso para la maquinaria y con un tamaño medio de bolos inferior a 30 cm. de diámetro. Previamente, estas zonas se limpiarán manualmente retirándose la capa superficial de fuel.

Si hay acumulación de hidrocarburo en el sustrato base de la playa (residuo infiltrado) se procederá a su limpieza manual, desplazando simultáneamente los bolos hacia un nivel más bajo del intermareal para, así, acelerar su lavado natural.

A medida que se retiran los bolos y el sustrato queda al descubierto, se extraerá la capa de fuel acumulada en la base. Para la realización de estas tareas se emplearán cuadrillas de entre 5 a 10 operarios que trabajarán manualmente ayudándose de palancas y paletas.

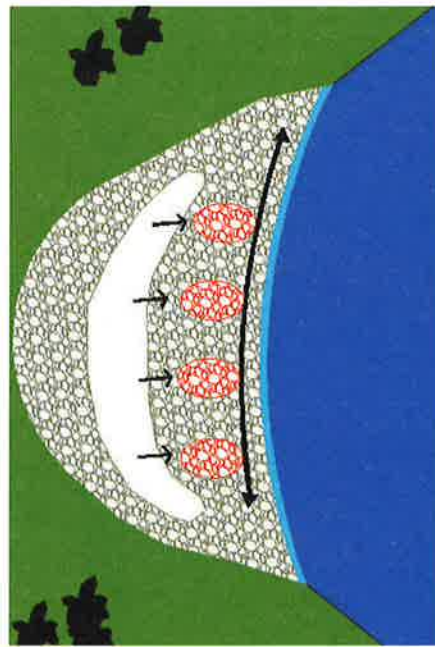
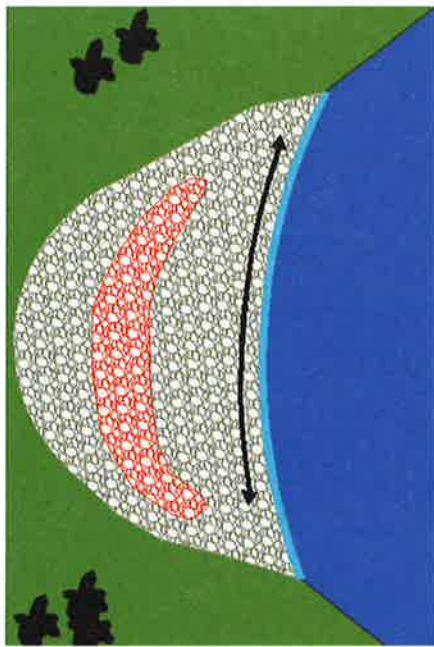
El objetivo final es proceder a la retirada de la mayor cantidad posible de fuel y, al mismo tiempo, desplazar los bolos a un nivel mareal más bajo para facilitar el proceso de fricción natural que elimine la pátina de fuel que recubre su superficie. A causa del empuje de las mareas, los bolos tienden a ascender en el perfil de la playa restableciendo su equilibrio.

Es necesario realizar un seguimiento temporal del proceso de lavado natural de los bolos y también de la recuperación del perfil original, de forma que, si fuese necesario, se realizarían actuaciones complementarias de recolocación de los bolos.



PROCEDIMIENTO PARA LA LIMPIEZA DE PLAYAS DE CANTOS Y BOLOS

Figura 1.- Playa de cantos en la que se representa el desplazamiento de bolos a la línea de rompiente del oleaje, sin sustitución de bolos. En el dibujo de la izquierda se observa, en la situación inicial, una zona activa de bolos (en rojo se representan las zonas impregnadas de fuel). A la derecha los bolos contaminados se han situado manualmente en la zona de rompiente del oleaje, y el sustrato de la playa queda temporalmente descubierto, hasta que la energía del oleaje reubique los bolos de forma natural.



- ↔ Línea de retroceso de la ola.
- Bolos o cantos manchados.
- Bolos o cantos limpios.



3.6.2 Desplazamiento manual de bolos a línea de rompiente, con sustitución de bolos impregnados por otros limpios

En algunas playas de cantos hay tramos protegidos de la acción del oleaje por una plataforma rocosa semisumergida que disipa su energía. Asimismo, muchas playas de cantos presentan una amplia zona inactiva, no sometida a la acción del mar en condiciones normales, pudiendo disponer de un escalón fósil, testigo de un nivel del mar pasado, varios metros por encima del actual.

Estas características condicionan los trabajos a realizar, debiéndose descartar cualquier tipo de actuación con maquinaria.

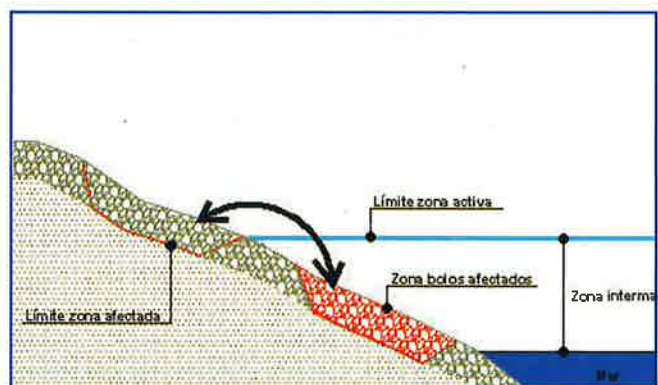
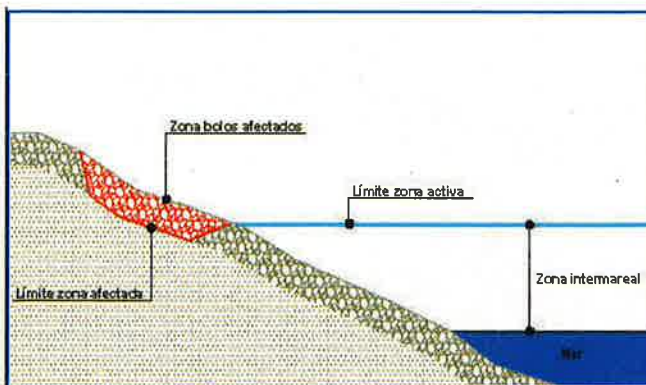
En todo caso, en estas playas se recomienda contar con el asesoramiento de geomorfólogos o geólogos, que orienten al coordinador y a los jefes de grupo en la elección de un procedimiento que minimice el impacto sobre el medio.

Al igual que en el caso anterior, se simultaneará la extracción manual del fuel percolado y el traslado de bolos a la zona de rompientes.

Con el fin de aumentar la fricción de los bolos por la acción del oleaje, se acumularán formando una berma de forma que se disponga un plano de incidencia del oleaje sobre el que éste actúe con mayor energía.

Se deben seleccionar zonas que no presenten una pantalla de borde rocoso que disipe la energía de las olas. Para el traslado de los bolos se pueden utilizar maquinillos oruga. Una rampa construida con platafor-

Figura 2.- Sección del movimiento de una zona de bolos impregnados de fuel situados sobre la pleamar con sustitución por otros limpios de la zona activa situados en la zona intermareal. Se debe retirar manualmente los restos de fuel existentes en el sustrato del área afectada previamente a la colocación de los bolos limpios.





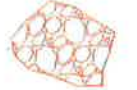

mas de madera puede resultar útil para facilitar su movimiento a través de la playa.

3.6.3 Desplazamiento mecánico de bolos a la zona de rompiente, con sustitución de bolos manchados por otros limpios

En playas de cantos de mayor superficie que en el caso anterior, y siempre que presenten unas características adecuadas, se podrá realizar el movimiento de bolos hacia la línea de rompiente con el apoyo de maquinaria. Es conveniente realizar muestreos previos para verificar que no existen grandes cantidades de fuel bajo los cantos. Si fuese necesario, se procederá a su retirada manual antes de desplazar los bolos o se seleccionarán otros métodos de limpieza, como el lavado de bolos en contenedores.

Figura 3.- Representación de una playa de cantos en la que se aprecia el desplazamiento de bolos manchados hacia la línea de rompiente del oleaje, y la sustitución de los mismos por bolos limpios. A la izquierda, se observa una zona inactiva, o semiactiva, de bolos impregnados con fuel (en rojo la superficie de la playa afectada por el vertido). A la derecha, los bolos contaminados, se sitúan en la línea de rompiente de las olas, al tiempo que se han sustituido estos bolos manchados por bolos limpios y de tamaño similar, de zonas intermareales de la playa. Este método de desplazamiento impide que el sustrato de la playa quede al descubierto, evitando así que sufra erosiones no deseadas.



-  Límite zona activa.
-  Límite marea baja.
-  Bolos o cantos manchados.
-  Bolos o cantos limpios.

GUÍA 6

Este procedimiento se puede aplicar en playas de cantos contaminadas de marcado carácter activo, con un espesor de la capa de bolos inferior a un metro, un tamaño de los bolos que no supere en su eje mayor los 25 cm, y siempre que la actuación no deteriore las posibles zonas inactivas. Los pasos a seguir en la aplicación de este método mecánico de limpieza son:

- Retirada de bolos limpios de línea de marea y acopio en zona supramareal.
- Movimiento de bolos contaminados de la zona supramareal a la línea de marea, por medio de maquinaria.
- Colocación de bolos limpios en las zonas que ocupaban los impregnados, recubriendo el sustrato de la playa.

3.6.4 Desplazamiento mecánico de bolos a la zona de rompiente, sin sustitución de bolos

En playas de bolos con similares características a los del caso anterior, y siempre que no exista peligro de erosión del sustrato, se puede optar por el desplazamiento mecánico de los bolos sin realizar ninguna sustitución de los mismos.

Este desplazamiento se realizará con la maquinaria adecuada. Se descarta totalmente el uso de máquinas tipo bulldozer por la excesiva erosión del sustrato que produce durante las operaciones de arrastre.

En líneas generales, estas playas de cantos o mixtas (arena y cantos), deben ser entornos de fácil acceso para la maquinaria. En aquellas zonas muy activas con peligro de erosión o deslizamiento de ladera, se deberá realizar la sustitución de bolos con hidrocarburo adherido por otros lim-



pios, para proteger así la estabilidad del talud frente a la acción erosiva del oleaje.

Tras la actuación, los perfiles transversales de las playas se suelen recuperar en breve plazo, especialmente en época invernal. En función de la litología, tamaño y grado de afección, puede ser necesario realizar el desplazamiento en actuaciones sucesivas.

3.7 Otras propuestas de actuación

3.7.1 Lavado de bolos en planta

En la bibliografía especializada sobre el tratamiento de este tipo de entornos, se recoge un tipo de actuación de limpieza de cantos de reducido tamaño, consistente en su traslado en camiones hasta una planta de tratamiento, lavado en la misma y posterior recolocación en la zona de procedencia.

Este método se propone como alternativa a la bajada de los bolos a la zona de rompiente en lugares accesibles donde el oleaje posea escasa energía, con cantos de pequeño tamaño y en las que, además, exista un elevado interés ambiental o marisquero, por la proximidad de un banco de moluscos u otras especies.

3.7.2 Lavado mediante inundación de zonas afectadas por arrastre de material contaminado

Este procedimiento, que deberá ser aplicado de forma combinada con barreras absorbentes para evitar la propagación del contaminante a otras



Desplazamiento mecánico de bolos.

1. Bolos con fuel en la zona superior de la playa.
2. Movimiento de bolos con retroexcavadora.
3. Vista general de la playa tras el lavado de bolos por la acción del oleaje.

áreas, sólo resulta efectivo para materiales impregnados por hidrocarburos poco viscosos y siempre que se disponga de un gran caudal de agua, situación no siempre posible en zonas poco accesibles.

Básicamente consiste en introducir el agua desde la parte superior de la zona afectada durante la marea baja, para conseguir arrastrar los residuos de hidrocarburo depositados entre los bolos. El flujo de agua aplicado deberá controlarse, variándolo en función de su velocidad de fluencia entre los cantos.

No resulta adecuado con fuel de elevada viscosidad.

▶▶ 4. INFORMACIÓN INTEGRAL PREVIA SOBRE LA ZONA DE TRABAJO. FICHA DE RECONOCIMIENTO DE ZONA CONTAMINADA

Un aspecto fundamental para la determinación del método de limpieza más adecuado, es la obtención previa de toda la información disponible. En este caso, cuanto más detallada y completa sea esta información, mejores serán los resultados obtenidos. Deberá incluir los siguientes aspectos:

- **Situación geográfica**

Se localizará la cartografía, planos de carreteras y fotografías de cada lugar de trabajo que permita su exacta localización y establecer los mejores itinerarios para el transporte del personal, maquinaria y residuos.

- **Condiciones de accesibilidad para el personal y maquinaria de limpieza**

Es necesario conocer el tipo de accesibilidad que presenta cada playa de cantos contaminada, sin descuidar otros factores tan esenciales como su peligrosidad, tipo de maquinaria, dificultades para la extracción del residuo, etc., pues esta información determinará, en gran medida, la elección de un método de descontaminación u otro.

- **Geomorfología y dinámica litoral de la playa de cantos**

Resulta de vital importancia, obtener una descripción de la morfología de la playa de bolos, que incluya información sobre la litología, tipo de sustrato, tamaño de los bolos, pendiente de la playa, existencia de homogeneidad en cuanto a la disposición y tamaño de los bolos, etc. Dentro de una misma playa se pueden presentar zonas diferentes, seleccionando distintos procedimientos adaptados a las variantes locales. Resulta imprescindible conocer la dinámica litoral en un playa de cantos. La incidencia del oleaje, el conocimiento de los períodos de temporales y sus características o las variaciones de la carrera de mareas pueden colaborar en la eficacia de la actuación.

- **Valores ecológicos, geomorfológicos, faunísticos y florísticos**

Esta información previa deberá incluir todos los aspectos ecológicos específicos de cada zona, siendo fundamental conocer el grado de protección y su nivel de conservación, así como las singularidades geomorfológicas y la localización exacta de las poblaciones de especies vegetales y animales, para evitar los efectos negativos que puedan causar sobre ellas las labores de limpieza ya que, la mayor parte de las playas de cantos, presentan Hábitats de Interés Comunitario, y pueden albergar o encontrar-

se en las proximidades de zonas ocupadas por poblaciones singulares, amenazadas o en peligro de extinción.

- **Tipo y grado de contaminación**

Debe de realizarse un informe previo de cada zona contaminada, en el que se describirá el tipo y grado de contaminación.

- **Asesoramiento científico-técnico: ecología, geomorfología, microbiología, zoología y botánica**

Para completar aún más la información previa, necesaria antes de iniciar cualquier trabajo de limpieza, se hace imprescindible contar con el asesoramiento de especialistas en los variados aspectos ambientales que inciden sobre los futuros trabajos de limpieza. Su estudio y conocimiento del medio pueden resultar muy eficaces en la toma de decisiones.

Con este objetivo se debe acudir a todas las fuentes disponibles: universidades, instituciones científicas, centros de la administración, asociaciones ecologistas u otras personas e instituciones con conocimiento en la materia.

En el **Anexo I** de este documento, se incluye la **Ficha de Reconocimiento de Zona Contaminada**, en la que se recogerá toda la información reunida sobre un área de trabajo y necesaria para diagnosticar la contaminación de una zona de costa específica.

▶▶ 5. ELECCIÓN DEL MÉTODO MÁS ADECUADO. MATRIZ DE IMPACTOS Y MÉTODOS DE LIMPIEZA

Una vez recopilada toda la información disponible sobre las zonas de actuación, es necesario enfrentar dicha información con los diferentes métodos de limpieza, de forma que esta integración ayude en la elección del método más adecuado en cada caso. Por ello es de gran utilidad la realización de una tabla o matriz en la que se reflejen los impactos sobre el medio de cada una de las actuaciones posibles en cada zona de trabajo. En la bibliografía internacional existen distintas tablas de este tipo.

En el **Anexo II** de este documento se incluye la **Matriz de Impactos y Métodos de Limpieza**, que se ha realizado y adaptado a las características de la costa atlántica española considerando aspectos sustanciales detectados a partir de la experiencia acumulada tras el vertido del Prestige. Esta herramienta de trabajo permitirá evaluar las diversas variables relacionadas con los métodos de limpieza y el medio natural, a fin de seleccionar el modelo de actuación más adecuado.

▶▶ 6. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO Y MINIMIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DERIVADOS DE LA LIMPIEZA

Una vez realizado el diagnóstico del efecto de la contaminación por medio de las Fichas de Reconocimiento, y tras haber decidido cuáles son las alternativas de limpieza más adecuadas para una zona concreta mediante las Matrices de Impactos y Métodos

GUÍA 6

de Limpieza, el siguiente paso es optimizar el trabajo y minimizar los posibles efectos que sobre el medio pueda ocasionar una actuación determinada.

A continuación, se relacionan una serie de recomendaciones para desarrollar los trabajos de limpieza, encaminadas a reducir al máximo el impacto. Se recogen recomendaciones de carácter general, a tener en cuenta en cualquier tipo de actuación, y otras específicas para cada uno de los métodos de limpieza de las playas de cantos y bolos.

6.1 Recomendaciones generales

- **Delimitación de la zona contaminada. Itinerarios para personal y maquinaria**

Con el fin de proteger las zonas no contaminadas, resulta esencial fijar itinerarios adecuados para el tránsito del personal y de la maquinaria de trabajo, e insistir en la obligatoriedad de su uso para disminuir la posible contaminación secundaria originada como consecuencia de los trabajos de limpieza.

- **Delimitación de áreas sensibles de fauna y flora**

Si en las proximidades de la zona de trabajo, existen poblaciones sensibles o amenazadas de especies vegetales o animales, una vez conocida su localización, se deberá proceder a su balizamiento, informando al personal de limpieza e impidiendo el tránsito. Si fuese precisa la limpieza de una de estas zonas, este trabajo deberá efectuarse por personal convenientemente formado, procurando proteger, en todo momento, las especies sensibles. La no actuación también es una opción a considerar ante la presencia de especies de flora y fauna sensibles.

Protección
de una zona
sensible.



- **Zonas de descontaminación de personal y maquinaria**

En cada entorno de trabajo se deben fijar lugares de descontaminación de personal y maquinaria; esta medida minimizará los posibles episodios de contaminación secundaria. En estas zonas, adecuadamente delimitadas y cubiertas con geotextiles y plásticos, se colocarán depósitos para el material y los Equipos de Protección individual (EPI's) contaminados. Si se considera necesario, también puede fijarse otra zona delimitada para la descontaminación de la maquinaria que trabaje directamente en la recogida del fuel.

- **Zonas de almacenamiento del residuo**

Los puntos de acumulación de contenedores o depósitos de residuos se deben delimitar adecuadamente, y proteger con geotextiles y plásticos para impedir posibles vertidos desde los contenedores hacia el sustrato.

6.2 Recomendaciones específicas

6.2.1 Limpieza manual

Como se ha indicado, es el método de limpieza de playas de cantos más recomendado por su efectividad y por ser el de menor impacto sobre el medio. Aún así, se deben considerar medidas de minimización del impacto, sobre todo en aquellas zonas que presenten una geomorfología especial o sensible.

La limpieza se realizará retirando directamente el residuo con las manos o bien con la ayuda de paletas, espátulas y otras herramientas. En los casos de contaminaciones altas, basta con recoger manualmente el residuo depositado sobre los bolos de la playa y en sus intersticios. El impacto causado por el personal de limpieza será mínimo, siempre y cuando se tomen las oportunas medidas de delimitación de zonas y se eviten episodios de contaminación secundaria.

En los casos en que el residuo contaminante haya percolado hacia la base de la playa de cantos, será necesario removilizar los bolos y recoger el residuo depositado en el sustrato. Se recomienda abrir un primer surco, a modo de trinchera, perpendicular a la línea de marea, y, a partir de ahí, limpiar toda la zona de bolos contaminada. Es importante que los bolos, a los que se les retira manualmente el fúel pero que permanecen impregnados en su superficie, no se mezclen con otros limpios.

El impacto que puede causar la limpieza manual del fúel percolado puede ser importante, sobre todo si se trata de zonas de playas de cantos inactivas, por lo que en estos casos se deberá extremar la sensibilidad.

- **En zonas activas de las playas de cantos**, es decir, aquellas zonas que son removidas frecuentemente por la acción del mar, los bolos son generalmente pequeños y fácilmente manejables por el personal de limpieza, aunque también se puede recurrir a la ayuda de una máquina, siempre que sea viable, para mover las piedras más pesadas y facilitar así la limpieza manual. Es importante que el cazo de la maquinaria no erosione el sustrato de la playa de cantos. También se debe procurar no dejar la base de la playa de cantos al descubierto, cubriéndolo nuevamente una vez que se hayan limpiado adecuadamente el sustrato y los bolos.

- **En aquellas zonas de playa de cantos inactivas**, es decir, zonas que permanecen fuera de la acción del mar, de especial valor geomorfológico, el trabajo será realizado exclusivamente de forma manual, procurando remover lo menos posible la playa de bolos, recolocando los bolos en su posición original tras retirar el fúel. En líneas generales, sólo se limpiará bajo aquellos bolos que puedan moverse de forma manual, o bien con la ayuda de palancas metálicas, y siempre que no se modifique la conformación original.

La utilización de maquinaria para apoyo al movimiento de ciertos bo-

GUÍA 6

los, solo se realizará en casos excepcionales y con la supervisión de especialistas.

6.2.2 Recogida mecánica directa

Como ya se indicó en apartados anteriores este método de limpieza es adecuado única y exclusivamente, para zonas con concentraciones muy elevadas de contaminante, en forma de grandes balsas de residuo, que resulten fácilmente accesibles para la maquinaria.

El impacto de la maquinaria sobre el medio debe minimizarse al máximo, fijando los itinerarios por los que siempre accederá a la playa de cantos, estableciendo una zona de descontaminación y, sobre todo, asegurándose de que los cazos recojan el fuel directamente de las balsas de acumulación, sin afectar en ningún caso a la superficie rocosa.

En estos casos, es muy probable que la maquinaria sea un foco de contaminación secundaria al estar en contacto directo con grandes cantidades de contaminante, por lo que resulta fundamental disponer de una zona de descontaminación (una hidrolimpiadora y material geotextil para recoger el residuo).

Cuando existan grandes acumulaciones de fuel en una zona inaccesible para la maquinaria, se podrá valorar la posibilidad de apertura de pistas que faciliten la limpieza y la extracción del residuo. Una vez efectuadas estas actuaciones, se debe proceder a la restauración ambiental de la zona, retirando el material de las pistas y facilitando la revegetación del terreno.

Zona de descontaminación para el personal de limpieza.



6.2.3 Bajada mecánica de bolos

Este tipo de actuación está indicado para aquellas playas de cantos con las siguientes características:

- Buenas condiciones de acceso.
- No presentan unas características geomorfológicas que desaconsejen dicha actuación.
- Bolos con un tamaño medio inferior a 30 cm. de diámetro.
- Presenten una elevada tasa de limpieza natural por el oleaje (playas de cantos muy activas).

Se desaconseja la utilización de máquinas tipo bulldozer al producir un arrastre no selectivo del sustrato de la playa de bolos, modificando las pendientes naturales y la estructura edáfica de dicho sustrato. Por ello, se recomienda que, el desplazamiento mecánico, se realice mediante máquinas que eviten, en la medida de lo posi-

ble, cualquier arrastre del sustrato.

Cuando exista fúel acumulado bajo los bolos, a medida que éstos se muevan con ayuda de la maquinaria, se debe limpiar manualmente la zona contaminada del sustrato.

En aquellas playas de cantos en las que se realice este tipo de actuación y que presenten un diámetro medio de bolos comprendido entre 30-40 cm, es recomendable realizar, además, una sustitución de los bolos manchados por bolos limpios procedentes de zonas del intermareal o supralitoral inferior. En caso contrario, el sustrato quedaría desprotegido y expuesto a la erosión.

Es muy importante realizar este tipo de actuaciones en días previos a mareas vivas y/o previsibles temporales. De este modo, la limpieza será más efectiva y los bolos desplazados recuperarán más fácil y rápidamente su posición natural original.

Esta actuación no es recomendable en zonas de playas inactivas o muy protegidas por formaciones rocosas que impidan que la fuerza del mar actúe sobre los bolos contaminados y los reubique en su emplazamiento original.

Para obtener un mayor grado de eficiencia en la limpieza por este método, se recomienda colocar los bolos agrupados, en forma de caballones perpendiculares a la línea de marea. Así se permite aumentar su resistencia al desplazamiento, incrementando las posibilidades de una mejor limpieza de los mismos. Una vez realizada la actuación de bajada de bolos se debe de realizar un seguimiento del proceso natural de limpieza y recolocación.

Durante el desarrollo de estas operaciones resulta esencial contar con el asesoramiento de especialistas en geomorfología y dinámica litoral, que aporten los conocimientos e indicaciones esenciales a la hora de aplicar cualquier método de limpieza en las playas de cantos.

6.2.4 Bajada manual de bolos

Está recomendado para aquellas playas de cantos o sus zonas activas con las siguientes características:

- Elevada tasa de limpieza natural.
- Tamaño medio de bolos inferior a 40 cm. de diámetro.
- Difícil acceso para la maquinaria.
- Características geomorfológicas especiales y sensibles, donde resulta inviable o poco recomendable el uso de maquinaria pesada.

Aunque el desplazamiento de los bolos hacia la línea de rompiente es un trabajo fundamentalmente manual, se pueden utilizar, como ayuda para el transporte los bolos, los maquinillos oruga.

En las zonas activas de playas de cantos con especiales valores geomorfológicos, se recomienda proceder siempre a la sustitución de bolos impregnados por otros limpios procedentes de la zona intermareal. Esto impide que

GUÍA 6

el sustrato quede desprotegido y pueda sufrir erosiones por las acometidas del mar.

En aquellos casos en los que exista fuel acumulado bajo los bolos, a medida que estos se desplazan manualmente se debe limpiar la zona contaminada del sustrato.

Al igual que en el caso anterior, es muy importante realizar este tipo de actuaciones en días previos a periodos de mareas vivas y previsibles temporales, para aumentar la efectividad del método.

En algunas de las zonas, en las que se aplique este método de limpieza, será necesario realizar este desplazamiento iterativamente, para así obtener un resultado aceptable. El número y frecuencia de los movimientos dependerá de la litología, pendiente de la playa, energía del oleaje y otras variables locales.

Como en el caso anterior, para obtener un mayor grado de eficiencia de la limpieza por este método, se recomienda colocar los bolos en grupos, formando pequeños caballones (acumulaciones) de bolos perpendiculares a la línea de marea.

Tanto en el caso del método de Bajada Mecánica, como en el de Bajada Manual de bolos a la línea de rompiente, se debe contar con el asesoramiento de especialistas en geomorfología y dinámica litoral.

Detalle del trabajo manual de limpieza de una playa de cantos con desplazamiento manual de bolos.



6.2.5 Hidrolimpieza

Se recomienda este método para zonas con un grado de contaminación medio-bajo, en tramos de roca fija y con una película continua de fuel sobre la roca. En este caso, ya existe un procedimiento de trabajo específico (véase el capítulo correspondiente), que define todos aquellos aspectos relacionados con la aplicación de agua a presión sobre el sustrato rocoso. Se deben seguir todas las indicaciones que hace el "Procedimiento para la limpieza de zonas rocosas e infraestructuras del litoral contaminadas susceptibles de actuación mediante lavado con agua a presión" (ver guía N° 3), recogido en este mismo documento, sobre todo en lo referente a minimizar el impacto del agua a presión sobre la superficie de meteorización de la roca (distancia adecuada de ataque del chorro de agua, temperatura, presión, etc.); asimismo, se recomienda la utilización de abundante geotextil, mantas y barreras absorbentes para recoger el efluente contaminado y cubrir tanto las superficies no contaminadas, como las ya hidrolimpiadas.

6.2.6 Biorremediación (biorrecuperación)

Este procedimiento está recomendado en aquellas playas de cantos que tengan un grado de contaminación bajo. Su eficacia se basa en potenciar los procesos naturales de biodegradación del hidrocarburo mediante la acción de bacterias petroleolíticas que lo usan como fuente de carbono y lo degradan.

La biorremediación es una técnica aconsejable una vez que los métodos mecánicos de recogida del contaminante pierden eficacia. Básicamente consiste en la adición, en las áreas afectadas, de nutrientes auxiliares (N, P, Fe, etc.) y otros activadores del crecimiento bacteriano que favorezcan el desarrollo de especies petroleolíticas autóctonas. Al igual que para la hidrolimpieza, para este tratamiento también existe un protocolo específico, recogido en la guía N° 7 de este documento "Procedimiento para actuación con técnicas de biorremediación en entornos rocosos impregnados con fuel".

Otros métodos

Existen otros métodos también citados en la bibliografía especializada, como el lavado de bolos en planta o la inundación con agua para lavado de zonas afectadas por arrastre de material contaminado, cuyo uso es menos frecuente, aunque también deben ser considerados como opción para determinadas zonas, siempre que las demás opciones de limpieza hayan sido descartadas.

ANEXO I

Ficha de Reconocimiento de Zona Contaminada

(*) Escala para Estimación de la cantidad de fuel en la costa.

Trazas (no mostrada): El fuel cubre menos del 1% de la superficie examinada

Esporádica: Cobertura entre 1 y 10%

Dispersa: Cobertura entre 11 y 50% (estimar %, ver escala)

Continua: Cobertura entre 51 y 90% (estimar %, ver escala)

Intensa: Cobertura superior al 90%

Si el fuel apareciese solamente en una parte limitada de la zona visitada, se estimará la superficie de ésta en relación al área total de la zona y se aplicará la escala únicamente a la parte que contiene fuel. Se anotará la parte afectada en el croquis correspondiente.

(**) Espesor de la capa de contaminante.

El término Bañera (Colapso), describe una situación de gran cantidad de fuel, en forma de grandes bolsas o placas, de forma que la playa de cantos permanece total o parcialmente sumergida.

El término Bañera (Balsas), describe una situación de gran cantidad de fuel, en forma de charcas o placas continuas, dispuestas entre los bolos de la playa de cantos pero, a diferencia del término anterior, se percibe claramente la estructura superficial de los bolos, es decir, éstos permanecen siempre visibles.

Esporádica	Fragmentada			Continua			Intensa
1 – 10 %	11 – 50 %			51 – 90 %			91 – 100 %
10 %	20 %	30 %	40 %	60 %	70 %	80 %	90 %

Fuente: OWENS D., Ed. Woodward – Clyde consultants (Alaska), 1994

PROCEDIMIENTO PARA LA LIMPIEZA DE PLAYAS DE CANTOS Y BOLOS

FICHA DE RECONOCIMIENTO DE ZONA CONTAMINADA			ACCIDENTE DE REFERENCIA
			TIPO DE CONTAMINANTE
OBSERVADOR		TIPO DE COSTA	
Nombre:	LOCALIZACIÓN DE LA ZONA		Acanitulado
Fecha:	Nombre:		Acanitulado con coído
Hora:	Código Identificación:		Coído o pedrero
Hora pleamar:	Ayuntamiento:		Playa con coído
Observaciones:	Provincia:		Construcción humana
	Observaciones:		Observaciones:
TIPO DE SUSTRATO ROCOSO Y SUPERFICIES APROXIMADAS		EXTRACCIÓN DEL RESIDUO	
Roca fija	%	ACCESIBILIDAD	Possible
Bolos > 1 metro diámetro	m ² (superficie plana)	Existe acceso rodado	Difficil / Cadena humana
Bolos 1 - 0,5 m. diámetro	m ² (superficie plana)	Existe acceso peatonal	Necesidad Helicóptero
Bolos < 0,5 m. diámetro	m ² (superficie plana)	No existe acceso	Imposible
Observaciones:		Acceso peatonal peligroso	Otros / Observaciones:
		Acceso por barco	
		Otros / Observaciones:	
TAMAÑO DE LA ZONA CONTAMINADA (SUP. PLANA)		COBERTURA DEL CONTAMINANTE (*)	
Longo	m.	Continua (cobert. >90%)	ESPOR DE LA CAPA DE CONTAMINANTE (*)
Ancho	m.	Intensa (cobert. 51-90%)	Bañera (colapso)
Superficie plana	m ²	Dispersa (cobert. 11-50%)	Bañera (Balsas)
Todo el coído		Esporádica (cobert. 1-10%)	Capa gruesa
Notas: si hay más de un tramo afectado, se usará una ficha por tramo.		Trazas (cobert. <1%)	Película Fina
		Observaciones:	Aceitoso - Irisaciones
			Observaciones:
ACTUACIONES REALIZADAS ANTERIORMENTE		ACTUACIONES RECOMENDADAS	
FOTOGRAFÍAS Y CROQUIS DE LA ZONA		COMENTARIOS Y OTROS ASPECTOS	

ANEXO II**Matriz de Impactos y Métodos de Limpieza**

Instrucciones para rellenar el documento Matriz de Impactos y Métodos de Limpieza.

Primero: con la ayuda de la Ficha de Reconocimiento de Zona Contaminada, previamente cubierta, se indican los Factores Limitantes que puedan influir en la realización de cada uno de los diferentes Métodos de Limpieza que figuran en la tabla. Se marca con una X, en la casilla correspondiente, en caso de que exista un determinado Factor Limitante que no recomiende o influya negativamente en una actuación determinada; excepto en la columna de No Actuación, en la que se indica con una X, en la casilla correspondiente, en el caso de que el Factor recomiende la No Actuación. Una vez cubiertas las casillas, se obtiene un sumatorio de Factores Limitantes para cada Método de Limpieza.

Segundo: se indican con una X los métodos recomendados, según el grado de contaminación existente en la zona y teniendo en cuenta los Factores Limitantes reflejados en el primer paso. Aquellos Métodos de Limpieza que tengan menos Factores Limitantes, serán los más recomendados y adecuados para esa zona de trabajo en cuestión; y, por el contrario, aquellos Métodos que tengan más Factores Limitantes, serán los menos recomendados en esa zona de trabajo.

(*) Grado de Contaminación:

•Alto; siguiendo la misma terminología utilizada en las Fichas de Reconocimiento de Zona Contaminada, se corresponde con situaciones de Espesor de Capa de Contaminante Tipo Bañera (Colapso) o Tipo Bañera (Balsas), y con situaciones de Cobertura de Contaminante Tipo Continua (>90%).

•Medio; siguiendo la misma terminología utilizada en las Fichas de Reconocimiento de Zona Contaminada, se corresponde con situaciones de Espesor de Capa de Contaminante Tipo Capa Gruesa o Tipo Película Fina, y con situaciones de Cobertura de Contaminante Tipo Intensa (51-90%) o Tipo Dispersa (11-50%).

•Bajo; siguiendo la misma terminología utilizada en las Fichas de Reconocimiento de Zona Contaminada, se corresponde con situaciones de Espesor de Capa de Contaminante Tipo Aceitoso - Irisaciones, y con situaciones de Cobertura de Contaminante Tipo Esporádica (1-10%) o Tipo Trazas (<1%).

() Ejemplo: Playa de cantos 1;** la explicación de los recuadros marcados es la siguiente:

No Actuación

La playa de cantos 1 presenta unas características geomorfológicas especiales, con una antigüedad de hasta 120.000 años; esta singularidad es el factor que hace que se recomiende una No Actuación ante un Grado de Contaminación Bajo.

Recogida Mecánica Directa

Este método de limpieza presenta 4 factores limitantes para la playa de cantos: el acceso de la maquinaria pesada a gran parte de la superficie de la playa es muy dificultoso, sus características geomorfológicas de alto interés ecológico

MATRIZ DE IMPACTOS Y MÉTODOS DE LIMPIEZA									
ZONA	FACTORES LIMITANTES Y RECOMENDACIONES	NO ACTUACIÓN	MÉTODOS DE LIMPIEZA POSIBLES				BIORREMEDIACIÓN		
			RECORDÓN MECÁNICA DIRECTA	LIMPIEZA MANUAL	BAJADA MECÁNICA BOLOS	BAJADA MANUAL BOLOS		MANUAL LIMPIEZA	
EJEMPLO: PLAYA DE CANTOS 1 (*)	INACCESIBILIDAD / PELIGROSIDAD		X						
	GEOMORFOLOGÍA/DINÁMICA LITORAL	X				X			
	VALORES ESPECÍFICOS FLORA Y FAUNA					X			X
	TRANSPORTE DEL RESIDUO								
	REGÍMEN DE MAREAS								
	INTERES MARISQUERO/PESQUERO					X			X
	TOTAL LIMITACIONES	1		4	2	4	2	3	2
	ALTO				X				
	MEDIO				X			X	
	BAJO		X					X	X
PLAYA:	INACCESIBILIDAD / PELIGROSIDAD								
	GEOMORFOLOGÍA/DINÁMICA LITORAL								
	VALORES ESPECÍFICOS FLORA Y FAUNA								
	TRANSPORTE DEL RESIDUO								
	REGÍMEN DE MAREAS								
	INTERES MARISQUERO/PESQUERO								
	TOTAL LIMITACIONES								
	ALTO								
	MEDIO								
	BAJO								
PLAYA:	INACCESIBILIDAD / PELIGROSIDAD								
	GEOMORFOLOGÍA/DINÁMICA LITORAL								
	VALORES ESPECÍFICOS FLORA Y FAUNA								
	TRANSPORTE DEL RESIDUO								
	REGÍMEN DE MAREAS								
	INTERES MARISQUERO/PESQUERO								
	TOTAL LIMITACIONES								
	ALTO								
	MEDIO								
	BAJO								

se verían altamente perjudicadas con este método de limpieza, el acceso de la maquinaria pesada perjudicaría a parte de la flora supralitoral y, el régimen de mareas, dificultaría enormemente la actuación en periodos de pleamar y mareas vivas. Estas 4 limitaciones hacen que no se recomiende este método de limpieza en ningún caso (no se marca con X ninguna casilla de recomendaciones).

Limpieza manual

Para este método de limpieza, el de menor impacto ambiental negativo para el medio, se marcaron 2 limitaciones: el régimen de mareas puede influir en los trabajos de limpieza, sobre todo en periodos de mareas vivas y temporales, que impedirían o dificultarían el trabajo manual de limpieza; además, al tratarse de una playa de cantos bien conservada y con características geomorfológicas especiales, se puede ver alterada si la removilización manual de bolos se hace de manera inadecuada. Sin embargo, aunque aparece marcado el recuadro de Geomorfología, si se toman las oportunas medidas correctoras, dicho impacto se puede disminuir en gran medida. Por todos estos motivos, se recomienda la limpieza manual cuando presente un Grado de Contaminación Alto o Medio.

Bajada mecánica de bolos

Similar al caso de Recogida Mecánica Directa, con el añadido de que se trata de una zona de frecuente pesca y marisqueo (el fuel arrancado de los bolos por el mar, podría influir en la pesca y el marisqueo de la zona). No se recomienda en ningún caso.

Bajada manual de bolos

Este método presenta 2 factores limitantes marcados en la tabla; el lavado de los bolos desplazados a la rompiente, podría afectar de algún modo a las especies de pesca o marisqueo de la zona y también podría afectar a la singular geomorfología de la playa de cantos realizando una serie de medidas correctoras, se puede minimizar en gran medida el impacto negativo sobre la estructura geomorfológico de la playa de cantos. Por ello, se recomienda la realización de este método de limpieza en partes concretas, ante situaciones de Grado de Contaminación Medio-Bajo, siempre y cuando se lleven a cabo una serie de medidas correctoras o de minimización de impactos.

Hidrolimpieza

Presenta 3 limitaciones, la ya indicada con respecto a la geomorfología especial de la playa de cantos, el régimen de mareas que puede dificultar la hidrolimpieza en determinadas zonas de roca fija y un tercer factor limitante que se refiere al interés marisquero de la zona (los efluentes de lavado de la roca pueden llegar a impactar sobre las especies comerciales). Este último factor limitante puede verse reducido si se llevan a cabo las oportunas medidas de minimización del impacto. Por ello, se recomienda este método para tratar zonas concretas de la bolera, en condiciones de Grado de Contaminación Medio y Bajo.

Biorremediación

Con 2 factores limitantes: las mareas, que pueden lavar zonas de aplicación

del producto oleofílico en determinadas zonas y la posible influencia de una excesiva introducción de nutrientes (eutrofización marina) en una zona con interés pesquero y marisquero. Por todo ello, se recomienda la utilización de este método sólo en condiciones de Bajo Grado de Contaminación de la playa.

CONCLUSIONES

En resumen, para la playa de cantos 1, se recomienda la limpieza manual como único método en caso de contaminación alta; en caso de una contaminación media, se recomienda la limpieza manual, la hidrolimpieza de roca fija y la bajada manual de bolos a línea de rompiente; y en casos de contaminación baja, se recomienda la bajada manual de bolos, la hidrolimpieza en roca fija, la biorremediación y la no actuación.

Procedimiento para la actuación con técnicas de biorremediación en entornos rocosos impregnados con fuel

▶▶ 1 INTRODUCCIÓN. ANTECEDENTES INMEDIATOS DEL PRESENTE PROCEDIMIENTO

La bibliografía acerca de la biorremediación es, en la actualidad, mucho más abundante que concluyente. Ello se debe, al menos en una parte importante, a la variedad de resultados posibles cuando se combinan los diferentes recursos que suelen incluirse en la noción de biorremediación, con la diversidad de condiciones que pueden darse en los espacios objetivo. A este respecto, conviene señalar que la información recogida en las páginas que siguen deriva de una experiencia concreta, que comprendió el ensayo de diversas técnicas de biorremediación en roquedos supramareales de la isla de Sálvora afectados por el vertido del *Prestige*, seguido de la posterior extensión de la técnica que resultó más eficaz a otras áreas similares del Parque Nacional das Illas Atlánticas de Galicia, de la Costa da Morte, y otros puntos del litoral cantábrico.

Los ensayos de Sálvora, así como su extensión a otras áreas del Parque Nacional y las aplicaciones en la Costa da Morte y en el litoral cantábrico, fueron promovidos por el Ministerio de Medio Ambiente, y mantenidos posteriormente por el Centro para la Prevención y Lucha Contra la Contaminación Marítima y del Litoral (Ministerio de la Presidencia). La ejecución corrió a cargo de tres grupos del Instituto de Investigaciones Mariñas (CSIC, Vigo). El grupo de Reciclado y valorización de residuos llevó a cabo los tratamientos, el seguimiento y evaluación de su eficacia y la totalidad de los muestreos implicados en el resto de las acciones; los grupos de Patología y de Fisiología energética de moluscos evaluaron, utilizando mejillón silvestre como organismo indicador, los aspectos relativos a la bioseguridad de los tratamientos, que resultaron inocuos en todos los casos.

En el anexo 1 de este procedimiento se recogen sumariamente el planteamiento y los resultados de los ensayos realizados en la isla de Sálvora, que permitieron decidir el tipo de tratamiento más eficaz en los entornos rocosos.





2. BASES DE LA BIORREMEDIACIÓN

La biorremediación puede definirse en términos muy generales como la utilización de seres vivos para restablecer el equilibrio natural de la materia en un espacio perturbado por la acción humana. En el caso concreto de la biorremediación aplicada a la contaminación por petróleo, es necesario considerar dos componentes.

Fertilización

La contaminación por petróleo supone, en principio, una sobrecarga del medio con carbono orgánico. Sin embargo es preciso matizar esta afirmación, advirtiendo que este carbono no es estrictamente asimilable al de otros nutrientes orgánicos. Primeramente, porque el petróleo contiene numerosos componentes que actúan como señales de estrés químico para muchas entidades biológicas que, a menudo responden inhibiendo diversos mecanismos metabólicos implicados en la degradación de sustratos exógenos. En segundo lugar, porque los hidrocarburos son compuestos muy reducidos (ricos en hidrógeno), cuya degradación en condiciones aerobias exige un fuerte aporte de oxígeno (la degradación en condiciones anaerobias es más lenta). Por otra parte, muchos hidrocarburos sólo son asimilables a tasas apreciables en presencia de otras fuentes de carbono orgánico (cosustratos). Finalmente, su baja solubilidad en agua les resta bioaccesibilidad, es decir, capacidad para integrarse en la dinámica metabólica, integración que es nula en el caso de componentes de gran tamaño molecular, como las resinas o los asfaltenos. Todas estas características explican la elevada tenacidad metabólica del petróleo, esto es, su resistencia en conjunto –aun con sensibles diferencias de unas a otras fracciones– a los procesos biodegradativos.

Con todo, existen numerosos microorganismos petroleolíticos (capaces, al menos en ciertas condiciones, de utilizar los hidrocarburos del petróleo como alimento), por lo que cabe facilitarles la tarea proporcionándoles otros nutrientes que equilibren su dieta. Los elementos esenciales a este respecto son nitrógeno, fósforo y, en menor medida, hierro (otros están disponibles prácticamente en todo hábitat), por lo que un recurso obvio es el de suministrar estos complementos en la formas presentes, por ejemplo, en los fertilizantes agrícolas convencionales (nitratos, sales amónicas, urea, fosfatos). Tal componente fertilizante de la biorremediación es siempre esencial.

Biorrefuerzo

Si la fertilización ayuda al consumo del petróleo por parte de los microorganismos que colonizan un espacio afectado, parece asimismo lógico pensar que el proceso puede acelerarse añadiendo un biorrefuerzo, esto es, sembrando especies microbianas conocidas, capaces de asimilar hidrocarburos y libres de contraindicaciones (riesgos biológicos).

A diferencia de la fertilización, la utilidad del biorrefuerzo es mucho más limitada y su eficacia muy dependiente del tipo de sustrato que se desee tratar. Aunque se mencione este recurso, la experiencia de las actuaciones de biorremediación en roquedos supramareales indica que los biorrefuerzos, en estos medios, no aumentan significativamente la eficacia de una fertilización adecuada.

Ambas componentes de la acción biorremediadora han suscitado, en el contexto de las mareas negras, ciertas objeciones por sus supuestos efectos colaterales no de-

seables, aún cuando sus problemas reales se relacionan principalmente con el logro de una eficacia razonable. En el anexo 2 se recogen los elementos de juicio, que se manejan habitualmente en los balances, acerca del uso de la biorremediación como técnica de limpieza de espacios litorales contaminados por hidrocarburos.

▶▶ 3. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL USO DE LA BIORREMEDIACIÓN

El objetivo de la biorremediación consiste en acelerar la biodegradación del petróleo en un espacio contaminado, sin riesgo de efectos colaterales no deseables. Puesto que constituye un recurso que se limita a activar o estimular procesos biológicos naturales, en su eficacia interactúan numerosos factores que impiden el enunciado de una receta genérica, y que es necesario considerar para evaluar su eficacia. A continuación se resumen los principios básicos que deben guiar la selección de los tiempos, espacios, tipos de contaminación, formas de tratamiento y características de las formulaciones aplicables en las actuaciones biorremediadoras.

3.1 Lentitud del proceso

Conviene partir del hecho de que la biorremediación es una técnica de descontaminación lenta, para la que, en principio, debe pensarse en plazos de meses. Ciertamente, tiene la ventaja de que los mecanismos metabólicos que activa, degradan y consumen con relativa rapidez al menos una parte de los hidrocarburos (en general las fracciones más tóxicas), no requiriendo, como sucede con otras técnicas (por ejemplo la hidrolimpieza y subsiguiente recogida de los lixiviados en tejidos hidrófugos), el posterior traslado de los residuos a instalaciones de tratamiento. No es apropiada, sin embargo, si por razones específicas se desea una limpieza rápida.

3.2 Inadecuación cuando es posible la recogida mecánica

La lentitud implica asimismo la recomendación de no aplicar esta técnica cuando el grosor de las capas de petróleo depositado sobre el sustrato permite aplicar todavía procedimientos eficientes de recogida manual o mecánica. De este modo, la biorremediación es pertinente sólo cuando estos procedimientos llegan a sus límites de eficacia, en áreas difícilmente accesibles para el equipamiento que éstos requieren, o en el caso de vertidos poco masivos. Se trata, en definitiva, de un recurso de segunda instancia, o de acabado.

3.3 Resistencia a la biodegradación de las diferentes fracciones del petróleo

Las diferentes fracciones del petróleo presentan, como se dijo, muy distinta resistencia a la biodegradación o tenacidad metabólica. Así pues, no cabe esperar altas eficacias frente a petróleos con altas proporciones de fracciones pesadas (resinas

GUÍA 7

Rocas de la isla de Ons (área de Pereiró) afectadas por el vertido del *Prestige*, después de un periodo de 18 meses de exposición a la intemperie. La zona de cantos rodados, que llegó a estar tan afectada como la adyacente de rocas fijas, recuperó en menos de dos meses el estado de limpieza que se aprecia en la fotografía.

y asfaltenos). Conviene señalar, sin embargo, que las formulaciones fertilizantes con base oleosa combinan un efecto favorable al desarrollo microbiótico, con una moderada pero persistente acción dispersante, cuya conjunción contribuye a la desaparición de incluso las fracciones más pesadas del fuel, a tasas significativamente más altas que las propias de áreas intratadas.

3.4 Problemas asociados al envejecimiento del petróleo

El petróleo aumenta su recalcitrancia metabólica al envejecer en condiciones ambientales. Primeramente, porque las fracciones más ligeras se evaporan, dispersan y biodegradan con más rapidez que el resto. En segundo lugar porque, si bien se admite que las fracciones más pesadas se degradan lentamente como consecuencia de la radiación UV solar, existen indicios de que dicha radiación aumenta asimismo la proporción de formas moleculares que se adsorben fuertemente a los silicatos, "fraguando" sobre las rocas graníticas de modo similar a como ocurre en la preparación, por tratamiento térmico, de los materiales para el asfaltado de las vías de comunicación.

La biorremediación, por tanto, presenta una ventana temporal de máxima eficacia, que se estrecha sensiblemente después de 3-6 meses.

3.5 Problemas asociados a diferentes tipos de entornos naturales

Al cabo, debe tenerse en cuenta que los espacios en donde la biorremediación se aplica con más éxito, son típicamente los suelos contaminados (por roturas de oleoductos, vertidos o escapes relacionados con los aeródromos, y actividades vinculadas al almacenamiento y distribución de combustibles o similares). En tales casos, la fertilización convencional, los biorrefuerzos, el roturado de la

tierra para formar estructuras de surcos y caballones alternos (biopilas), semejantes a los que produce el arado y, ocasionalmente, las inyecciones de aire, oxígeno o peróxidos, aportan contribuciones todas ellas estimables, que aproximan el procedimiento, por una parte, a las técnicas agrícolas y, por otra, a las del compostaje de residuos orgánicos.

Pero el factor esencial en este éxito viene dado por la propia naturaleza del suelo: una matriz material compleja, porosa, con una gran superficie interna que le proporciona una gran capacidad para absorber y retener agua y nutrientes, así como para crear microespacios al abrigo de la luz solar directa, que suavizan los efectos de la temperatura y la radiación ultravioleta. Tal matriz es, por lo demás, asiento normal de una intensa actividad microbiana,



que degrada cooperativamente una gran diversidad de estructuras orgánicas (algunas tan recalcitrantes como la celulosa o la lignina), creando una diversidad molecular aun mayor, potencialmente capaz de aportar cosustratos que favorecen la degradación de los hidrocarburos más estables.

En fuerte contraste con esta situación, basta pensar en el aspecto desértico de una playa, la desnudez de un roquedo supramareal o el lavado constante que experimenta una llanura mareal para apreciar que, en entornos litorales, faltan muchas de las condiciones que hacen de la biorremediación un recurso eficaz en ambiente terrestre. De ahí que, frente a los resultados habituales en los tratamientos de suelos, la biorremediación litoral haya generado a menudo valoraciones contradictorias que, admitiendo la corrección metodológica de los tratamientos, deben atribuirse a las limitaciones de los espacios tratados.

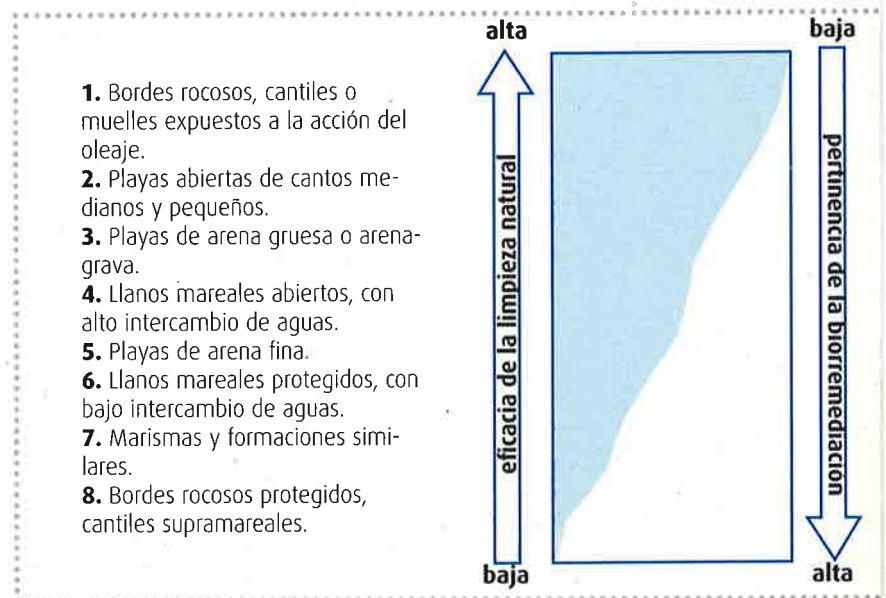
3.6 Superfluidad en áreas expuestas al oleaje, o de cantos rodados

Una vez más por su lentitud, la biorremediación resulta poco eficaz en áreas rocosas expuestas a la acción directa del oleaje, así como en aquellas –por ejemplo las playas de cantos pequeños o medianos, del tipo que se muestra en la foto de la izquierda– en donde la fuerza del agua, aun siendo escasa, es suficiente para hacer rodar los materiales rocosos, que se limpian así por la misma fricción que contribuye a redondearlos.

3.7 Pertinencia de la biorremediación en entornos litorales

En entornos litorales, los espacios en donde los factores de limpieza natural resultan menos eficaces, son en principio los candidatos más lógicos para la aplicación de técnicas biorremediadoras (figura 1). Sin embargo, debe notarse que pertinencia no equivale a eficacia, existiendo, de hecho, espacios muy sensibles al impacto del petróleo y, al mismo tiempo, con peculiaridades que los alejan de las condiciones más apropiadas para una acción biorremediadora eficiente. Así sucede en las llanuras mareales, muy sensibles a los hidrocarburos, pero en donde los biorremedios se diluyen inútilmente en el agua, o los roquedos supramareales, que quedan impregnados durante largos periodos de tiempo, pero cuya capacidad para sostener desarrollos microbióticos es muy escasa.

Figura 1: Pertinencia genérica de la biorremediación (en términos relativos aproximados) en diferentes entornos litorales.



3.7.1 Tratamientos "in situ"

Los roquedos supramareales son, sin duda, los espacios donde la permanencia del petróleo se hace más dilatada y conspicua: en la costa de Baiona, al sur de la Ría de Vigo, se encuentran aún hoy, después de más de treinta años de exposición a los agentes naturales, restos bien visibles del vertido del *Polycommander* (foto anexa). Ciertamente, el petróleo así adherido a las rocas sólo contiene, pasado cierto tiempo, las fracciones más estables, de menor bioaccesibilidad y por ello las menos tóxicas: en las citadas rocas de Baiona crecen hoy líquenes del género *Xanthoria* sobre los restos del petróleo.

En cualquier caso, los roquedos supramareales representan el típico entorno que requiere métodos de acabado "in situ". El problema principal reside aquí en el hecho de que una roca no sólo imposibilita los recursos del roturado o el compostaje, sino que constituye un sustrato con una microbiota natural pobre, como consecuencia de su carácter mucho más hostil a la actividad microbiana que los suelos vegetales.

Desde el punto de vista de la biorremediación debe tenerse en cuenta que los sustratos rocosos retienen muy escasamente la humedad, al tiempo que los materiales depositados en su superficie se encuentran especialmente expuestos al lixiviado pluvial, al arrastre por el viento y a los efectos de la radiación solar: en rocas ennegrecidas por el petróleo en la costa atlántica española, se han llegado a registrar temperaturas estivales de hasta 60°C. De este modo, las superficies rocosas resultan muy poco aptas para retener fertilizantes y biorrefuerzos en estado viable, por lo que la opción más recomendable en este caso es el uso de biorremedios de base oleosa.

3.7.2 Tratamientos "ex situ"

En áreas con depósitos inter o submareales de fuel es, en general poco eficaz la aplicación de técnicas de biorremediación, ya que, como se ha señalado, inevitablemente los fertilizantes se diluyen en el agua. Aunque a veces se citan recursos, como la inmersión de bloques o sacos con fertilizantes de liberación lenta, el procedimiento sólo parece adecuado en aguas con escaso intercambio (lagunas mareales sin vaciado total en bajamar) y su eficacia real se encuentra poco contrastada. Por otra parte, en aguas someras, bien iluminadas, los organismos fotosintéticos compiten con la microbiota heterotrófica por los fertilizantes, sin proporcionar una capacidad apreciable para la degradación de los hidrocarburos.

Restos del vertido del *Polycommander*, después de un periodo de exposición a la intemperie de 36 años. Nótese los líquenes que crecen sobre los restos del petróleo.



Existen situaciones especiales en las que puede hacerse necesaria la descontaminación de sedimentos inter o submareales. En tales casos cabe recurrir a los llamados tratamientos "*ex situ*", es decir, al dragado de los materiales y su traslado a un nivel supramareal, para tratarlos allí con procedimientos de biorremediación en biopilas, como los que se aplican a suelos. La operación es, en general, costosa y sólo justificable, como se dijo, en casos excepcionales.

Los tratamientos "*ex situ*" pueden asimismo constituir la mejor solución en casos de formaciones rocosas entre cuyos intersticios discurrió el petróleo, formando depósitos sobre el sustrato base poco accesibles a cualquier tratamiento. Aquí, el tratamiento y desplazamiento de las formaciones rocosas dejando accesible y descubierto los depósitos, permite la aplicación de tratamientos de biorremediación en biopilas. Siempre hay que valorar la conservación de los valores geomorfológicos de estos ambientes a la hora de plantearse el movimiento de dichas formaciones rocosas (ver guía N° 6).

3.8 Uso potencial de la biorremediación en diferentes bordes litorales

Además de afectar a la pertinencia genérica de la biorremediación, las características de los espacios afectados condicionan también las propiedades que deben exigirse a la formulación biorremediadora previsiblemente más eficaz. A continuación se resumen los tipos de actuación más adecuados a diferentes tipos de espacios.

3.8.1 Espacios terrosos, suelos vegetales

- En estos suelos se recomienda el uso de fertilizantes agrícolas en soluciones acuosas: formas oxidadas y reducidas de nitrógeno (sales amónicas y nítricas, urea), fosfatos, sales de hierro, preferentemente en forma quelada. Con pluviosidad alta, puede convenir el uso de preparados comerciales de liberación lenta. Las biopilas, o estructuras de surcos y caballones como las que produce el arado, constituyen un adecuado recurso adicional.
- Los fertilizantes oleosos pueden tener acción bioestimulante de la microbiota local, pero deben aplicarse diluidos en emulsión acuosa, para evitar la formación de aglomerados o películas que dificulten la aireación.

3.8.2 Sedimentos inter o submareales

- En estos espacios, en general, es ineficaz cualquier adición "*in situ*" de productos biorremediadores.

- En casos especiales puede recurrirse al tratamiento de los materiales "ex situ", en un espacio supramareal, con fertilizaciones aplicadas con los criterios resumidos en el apartado precedente para los suelos.

3.8.3 Espacios arenosos

- La eficacia de la biorremediación en estos ambientes es muy baja o nula, en especial en las playas, por la hostilidad del sustrato al desarrollo microbiótico.

3.8.4 Espacios rocosos

- En los espacios supramareales, donde no puede contarse con la acción mecánica natural, la biorremediación debe llevarse a cabo con formulaciones fertilizantes oleosas, que en este tipo de sustratos aventajan por muchas razones a las acuosas. Ni estas últimas –incluso suplementadas con materiales absorbentes y adsorbentes que facilitan la retención– ni los biorrefuerzos presentan eficacias significativas. En general, las condiciones más favorables para aplicar procedimientos de biorremediación en estos ambientes son:

- Espacios al abrigo de la acción mecánica del mar, o que éste sólo alcanza en condiciones especiales (mareas vivas, temporales). Debe evitarse, sin embargo, el consumo de biorremedios en zonas intermareales (incluso en las poco batidas, donde el periodo de permanencia del petróleo puede ser relativamente alta), ya que aún los fertilizantes oleosos son fácilmente arrastrados por el agua.
- Bajos espesores de fuel, que hacen inadecuada o ineficiente la limpieza manual o mecánica.
- Superficies contaminadas en lapsos temporales no superiores a 3-6 meses antes del inicio del procedimiento, a fin de evitar los problemas asociados al envejecimiento del petróleo.
- Superficies impregnadas por residuos de fuel en los que sean predominantes las fracciones ligeras sobre las pesadas (mayor proporción de hidrocarburos saturados y aromáticos que de asfaltenos y resinas).
- Proximidad del espacio afectado a ambientes terrestres (bosque, monte bajo), ya que la contribución de la microbiota asociada a tales ambientes mejora los procesos de biodegradación.

3.8.5 Playas de grava gruesa y cantos

- A medida que aumenta el tamaño de los materiales desde la arena hasta los cantos rodados, y si esas zonas son alcanzadas con fuerza suficiente por la acción mecánica del mar para mover los materiales –incluso débilmente–, la acción abrasiva ejerce una eficaz acción limpiadora que suele hacer innecesario otro tratamiento, como la biorremediación.
- En las zonas supramareales de estas playas no puede contarse con la acción mecánica natural, por lo que, dependiendo del tamaño de los materiales, son válidas las recomendaciones mencionadas en los espacios arenosos o rocosos, en función del tamaño de los materiales.

▶▶ 4. TIPOS DE BIORREMEDIOS Y PERTINENCIA DE SU APLICACIÓN

La consideración de los mecanismos que la biorremediación pretende potenciar, junto con los resultados obtenidos en espacios naturales, permite establecer una serie de criterios de pertinencia y eficacia para el recurso, que incluyen las características del espacio a tratar y de las formulaciones biorremediadoras ¹.

Un biorremedio debe cubrir los siguientes requerimientos:

4.1 Equilibrar el exceso de carbono y favorecer las oxidaciones

Los nutrientes esenciales a este respecto son formas oxidadas y reducidas de nitrógeno, fosfatos y hierro. El uso conjunto de formas oxidadas y reducidas de nitrógeno es conveniente porque puede satisfacer las preferencias de diferentes microorganismos, y porque previene las acusadas derivas del pH que a menudo son consecuencia del consumo exclusivo de unas u otras formas. El hierro, si bien a concentraciones de micronutriente, es importante porque favorece las oxidaciones. La petroleolisis también puede darse en condiciones anaerobias, pero es poco relevante fuera de sustratos como los sedimentos afectados por percolaciones o cubiertos por el cambio del perfil de las playas, así como las bolsas subterráneas que pueden formarse por filtración desde la superficie. En cualquier caso, el proceso anaerobio resulta siempre más lento.

¹ Las afirmaciones relativas al tratamiento de roquedos supramareales que se incluyen en los apartados subsiguientes se han extraído de la experiencia concreta con el vertido del *Prestige*, un fuel pesado (hidrocarburos saturados: 30,5%; hidrocarburos aromáticos: 40,1%; resinas: 17,1%; asfaltenos: 12,3%). Por las condiciones en que tuvo lugar el accidente (mareas vivas y temporal con importantes alturas de ola), el petróleo alcanzó niveles supramareales particularmente altos, quedando tenazmente adherido a las rocas.

4.2 Proporcionar cosustratos y formas de carbono "blando"

En aparente contraposición con el hecho de la sobrecarga de carbono, existen abundantes indicios de que la biodegradación de fracciones como los hidrocarburos poliaromáticos más recalcitrantes se acelera si se suministran fuentes de carbono más fácilmente asimilables, que puedan actuar como cosustratos. Es decir, las formas de carbono "duro" deben complementarse con carbono "blando". Si bien la urea puede actuar como una fuente simultánea de nitrógeno y carbono, es razonable suponer, dadas las vías metabólicas en las que ingresan los hidrocarburos, que los ésteres y los ácidos grasos que forman la base de los biorremedios oleosos desempeñen mejor el papel de cosustratos.

4.3 Favorecer la bioaccesibilidad del fuel y la retención de microbiota

En espacios como los roquedos y, dados los problemas señalados en el apartado 3.7.1, es esencial que la formulación del biorremedio facilite su incorporación a las capas de fuel, o su retención en las superficies afectadas, contribuyendo a mantener la fluidez y dificultado su fraguado (ver apartado 3.4). También debe poseer una moderada capacidad dispersante, para elevar el área de contacto con los agentes naturales y favorecer la bioaccesibilidad de los hidrocarburos. Debe crear superficies capaces de captar y retener microbiota (natural o del eventual biorrefuerzo) y ofrecer una resistencia razonable al lixiviado pluvial. El conjunto de estos requerimientos aconseja en el tratamiento de los roquedos los biorremedios oleosos, no siendo adecuadas las formulaciones vehiculadas en medios acuosos.

4.4 Permitir protocolos de aplicación sencillos

El uso del biorremedio debe evitar protocolos complejos, poco viables en la práctica. Es frecuente que, en las recomendaciones comerciales de uso de biorrefuerzos, se señale, a la vista de los roquedos afectados por un vertido, la necesidad de humectar suavemente el sustrato dos o tres veces por semana. Tal actividad, sin embargo, elevaría notablemente las necesidades de recursos humanos pese a que, una de las ventajas que se atribuyen a la biorremediación es precisamente la sencillez de sus requerimientos.

▶▶ 5. DOSIS Y PERIODICIDAD DE LAS APLICACIONES FERTILIZANTES

Aunque los principios básicos de la fertilización biorremediadora son comunes a cualquier formulación que se aplique, los condicionantes discutidos en el apartado precedente imponen diferencias de método que conviene tratar distinguiendo entre los tratamientos fertilizantes semejantes a los agrícolas y aquellos otros que implican formulaciones más específicas.

5.1 Fertilizantes agrícolas convencionales

5.1.1 Relaciones entre los nutrientes fundamentales

Cuando la vertiente fertilizadora de la biorremediación puede resolverse por medio de productos convencionales de uso agrícola, un criterio adecuado para cubrir las necesidades ya especificadas, consiste en estimar la cantidad de fuel presente, Q , por unidad de superficie a tratar (o volumen, en el caso de biopilas o similares), y añadir las siguientes proporciones ponderales de nitrógeno, fósforo y hierro:

$$N \sim Q \times 0,10$$

$$P \sim Q \times 0,04$$

$$Fe \sim Q \times 0,00004 \quad (4 \times 10^{-5})$$

que pueden suministrarse en una forma conveniente (véase apartado 3.1) mediante la adición, por kg de fuel estimado, de:

$$NH_4NO_3 \quad 244 \text{ g}$$

$$NH_4H_2PO_4 \quad 153 \text{ g}$$

productos comerciales de fácil adquisición, que, en las cantidades indicadas, significan un aporte de:

$$N \text{ (nitrógeno)} \quad 40,8 \text{ g}$$

$$P \text{ (fósforo)} \quad 59,1 \text{ g}$$

$$Fe \quad 40,3 \text{ g}$$

Con respecto al hierro, existen asimismo diversos preparados comerciales, de uso común –como inductores del enraizamiento o la floración– en agricultura o jardinería, que proporcionan el elemento en forma quelada, junto con diversos oligonutrientes, algunos de ellos orgánicos, también útiles como estimulantes del crecimiento microbiano. Los precios varían de unos a otros preparados, siendo sensiblemente más elevados en aquellos que incluyen extractos vegetales portadores de hormonas, innecesarios para los propósitos de los que aquí se trata. Naturalmente, la dosis debe establecerse (de acuerdo con el citado criterio de $Fe \sim Q \times 4 \times 10^{-5}$) tomando como base el contenido en hierro que indique la formulación.

5.1.2 Concentración de las soluciones a aplicar

Una vez ajustada en los términos precedentes la dosis de fertilizante en función del petróleo presente, la concentración de la solución a aplicar para suministrar las cantidades adecuadas de N, P y Fe debe estimarse en función de la porosidad y la capacidad de absorción del sustrato. En

sustratos poco absorbentes, una aplicación razonable con un pulverizador convencional suele exigir unos 0,5-1,0 litros por m². Lograr una penetración aceptable en suelos o biopilas terrosas exige mayores volúmenes, por lo que en general deberá trabajarse con soluciones más diluidas.

5.1.3 Posible suplementación con materiales adsorbentes o absorbentes

En principio, y para facilitar la retención de los agentes biorreparadores en sustratos poco porosos, o con una proporción importante de superficies muy inclinadas, la solución puede suplementarse con un 5-10% de algún material absorbente o adsorbente. Sin embargo, debe señalarse que en la experiencia de la que deriva este procedimiento (véase Introducción), el uso con este propósito de sepiolita, bentonita, arcilla o fragmentos vegetales no mejoró los resultados de las fertilizaciones acuosas, tanto en presencia como en ausencia de diversos tipos de biorrefuerzos.

5.1.4 Periodicidad de las aplicaciones

Viene condicionada, naturalmente, por la velocidad a la que desaparecen los nutrientes adicionados, siendo conveniente reiterar el tratamiento cuando la relación entre el fuel presente y el nitrógeno desciende a valores comprendidos entre 1/5 y 1/10 del añadido inicialmente.

Con fertilizaciones oleosas es posible establecer criterios de seguimiento visual mientras que, con fertilizaciones acuosas, no es posible proponer estas estimaciones, debiendo recurrirse a métodos analíticos (véase apartado 7. Métodos para evaluar la eficacia de los tratamientos). No obstante, la tasa de descenso de nitrógeno se mantiene esencialmente constante a lo largo del tratamiento, lo que permite estimaciones fiables después de realizadas una o dos aplicaciones.

5.1.5 Posible utilidad del seguimiento del pH

La medida periódica del pH en aquellos sustratos que proporcionan valores fiables (agua, suelos, biopilas, dudosamente rocas) puede contribuir a mejorar el ajuste de la fertilización. Aunque no es un criterio absoluto, ya que existen muchos factores que la afectan, la deriva del pH hacia valores ácidos suele indicar el consumo preferente de formas reducidas (amónicas) de nitrógeno, mientras la deriva hacia la alcalinidad apunta hacia el de formas oxidadas (nitrícas). Puesto que estos consumos son –aunque no sólo– función de las concentraciones relativas de ambas formas, $N_{ox}/(N_{ox}+N_{red})$ y $N_{red}/(N_{ox}+N_{red})$, consumos preferentes delatan en general suministros en exceso, lo que permite utilizar la posible deriva del pH como guía para corregir las proporciones antes especificadas. Como ya quedó apuntado en los apartados 4.2 y 4.3, las fertilizaciones

realizadas con soluciones acuosas, eficaces en suelos, resultan prácticamente inútiles en rocas. A menudo los nutrientes adicionados desaparecen en menos de una semana, en especial si llueve (aun si se añaden materiales absorbentes), sin haber contribuido a un aumento significativo, con respecto a las áreas de control, de la microbiota detectada por unidad de superficie, tanto por métodos convencionales de cultivo, como por métodos moleculares.

5.2 Fertilización con productos de base oleosa

Las principales dificultades, ya señaladas, que presenta el tratamiento de superficies rocosas, son en cierto modo compensadas por los biorremedios de base oleosa, cuyas características a este respecto pueden resumirse en las siguientes propiedades:

- Se incorporan a las capas de fuel, retardando su fraguado (véase foto inferior).
- Ejercen una moderada actividad dispersante, que aumenta la superficie expuesta y favorece la bioaccesibilidad de los hidrocarburos (véase foto inferior).
- Facilitan la retención de los nutrientes en las superficies a tratar.
- Favorecen la captación de microbiota ambiental o la retención de eventuales biorrefuerzos.
- Son relativamente resistentes al lixiviado pluvial y a las altas temperaturas de verano en las superficies ennegrecidas por el petróleo.
- Aportan fuentes de carbono auxiliares, que pueden actuar como cosustratos.
- Requieren, en general, aplicaciones menos reiteradas que los fertilizantes en solución acuosa, ya que su incorporación al petróleo minimiza su migración.

El precio, sensiblemente más alto que el de la fertilización con productos de uso agrícola, constituye el principal inconveniente de esta alternativa.

5.2.1 Dosificación

Las relaciones entre superficie, carga inicial de fuel y dosis total de biorremedio

Baldosas graníticas cargadas con pesos iguales de fuel, después de 20 días de exposición a la intemperie en ausencia (izquierda) y presencia (derecha) de un fertilizante oleoso. Nótese el moderado efecto dispersante debido a la incorporación del biorremedio a la capa de fuel.



oleoso aplicada a lo largo del tratamiento pueden establecerse, de acuerdo con la experiencia que fundamenta el presente procedimiento, en los siguientes valores:

Carga inicial de fuel~ 125 g/m² (1,25 Tm/Ha)

Dosis total de biorremedio

- por unidad de superficie ~ 700 g/m² (7,0 Tm/Ha)
- por unidad de fuel presente ~ 5,6 g/g (5,6 Tm/Tm)

Por otra parte, el factor limitante de la velocidad de desaparición del fuel se encuentra más relacionada con la captación y retención de microbiota ambiental por parte de las superficies tratadas, que con las dosis de biorremedio dispensadas en cada aplicación, una vez alcanzado un nivel que puede estimarse entre los 100 y los 200 g/m².

Las proporciones ponderales de los elementos esenciales de estas formulaciones de base oleosa, pueden ser similares a las de las formulaciones de los fertilizantes agrícolas convencionales.

5.2.2 Efecto del aumento de la carga de fuel

Una carga de 125 g/m² representa aproximadamente una capa de petróleo de 0,125 mm. de espesor, lo que significa una superficie "pintada" con fuel (como una parte de las baldosas utilizadas en los procedimientos que se describen en el apartado 7). Si bien en un roquedo afectado por un vertido son frecuentes las áreas con manchas discontinuas, la carga real de tales manchas es a menudo mayor.

Sin embargo, aumentar la dosis por aplicación o realizar aplicaciones antes del agotamiento del producto sobre el sustrato no mejora sustancialmente la eficacia del tratamiento y conduce al consumo inútil del biorremedio. Así, una mayor carga de fuel implica un aumento del tiempo necesario para lograr la limpieza (tratamientos equivalentes frente a fuel del *Prestige* condujeron después de 5 meses a una eliminación del ~82% con cargas de 133 g/m² y del ~40% con cargas de 750 g/m²). Y así también, cuando se dice que la biorremediación es un recurso lento y de acabado, debe entenderse que la duración difícilmente se acorta con sobredosis de biorremedio a partir de los niveles especificados en el apartado precedente.

5.2.3 Periodicidad de las aplicaciones y criterios de economía

En general, la carga de biorremedio por cada aplicación debe encontrarse, como se dijo, entre los 100 y los 200 g/m². Cargas superiores tienden a resbalar por las superficies inclinadas antes de incorporarse a la capa de fuel. Cargas inferiores reiteradas hasta lograr la limpieza economizan el consumo, pero exigen como contrapartida reducir el periodo entre aplica-

ciones sucesivas, lo que aumenta las necesidades de mano de obra. La periodicidad de las aplicaciones, condicionada, como en la fertilización acuosa, por la velocidad de desaparición del biorremedio, puede estimarse fácilmente por apreciación visual, ya que la pérdida del brillo característico del producto sobre el sustrato constituye un buen criterio de seguimiento (a menudo el biorremedio es aún detectable analíticamente en estas condiciones). El intervalo promedio entre dos aplicaciones es de unos 40 días, que tiende a descender ligeramente a las temperaturas de verano y a dilatarse en invierno (donde la eficiencia es menor no sólo como consecuencia de las bajas temperaturas, sino también del lixiviado pluvial, pese a la relativa resistencia del tratamiento oleoso a este respecto).

5.2.4 Conservación, equipo y modo de aplicación

La aplicación eficiente –y económica– de biorremedios oleosos requiere una atomización fina sobre el sustrato, y su viscosidad, como la de todo producto oleoso, hace inviable el uso de atomizadores accionados a mano, exigiendo equipos con motor de gasolina, como el que se muestra en la foto adjunta. La viscosidad aumenta acusadamente con el descenso de la temperatura, lo cual dificulta las aplicaciones en invierno si no se tiene la precaución de almacenar el producto a ~20-25°C, o de llevarlo a esta temperatura por calefacción mediante un serpentín.

Cuando el líquido –que constituye una emulsión– permanece en reposo a cualquier temperatura, sedimenta espontáneamente un polvo blanquecino, rico en urea, que puede llegar a formar agregados de cierta consistencia. La aplicación correcta exige la resuspensión de dicho sedimento, para lo cual es conveniente recircular vigorosamente el producto, de nuevo a ~20-25°C, mediante una bomba. Finalmente, para maximizar la incorporación del biorremedio a la capa de fuel, las aplicaciones deben realizarse con previsiones meteorológicas que aseguren ausencia de lluvia durante los dos días siguientes al tratamiento.

5.2.5 Uso de biorremedios oleosos en biopilas

Los biorremedios oleosos pueden asimismo aplicarse al tratamiento en biopilas de sustratos terrosos. En estos casos, sin em-

Modo correcto de operar y equipo atomizador individual, con motor de gasolina, adecuado para la aplicación de biorremedios oleosos, cuya viscosidad impide el uso de atomizadores manuales.



bargo, es necesario diluirlos con agua, mezclándolos vigorosamente por recirculación mediante una bomba, hasta concentraciones del orden de 1/10 de la original, para evitar que la base oleosa dificulte la aireación.

5.2.6 Seguimiento del proceso

Aunque en ciertas condiciones el progreso de la biorremediación puede apreciarse por simple inspección visual, la eficacia de los tratamientos, en especial si se trata de comparar los resultados de distintas alternativas, debe seguirse analíticamente por los procedimientos que se especifican en el apartado 7, con muestreos aproximadamente mensuales.

En el caso de suelos vegetales, con o sin realización de biopilas, las características del sustrato suelen dificultar la apreciación visual, pero su homogeneidad facilita el muestreo representativo. Dicho muestreo debe tener en cuenta la conveniencia de que el material recogido contenga, al menos durante las fases iniciales del tratamiento, no menos de 2 gramos de fuel, a fin de permitir el cálculo de diversos índices analíticos que contribuyen a definir las características del proceso y pueden fundamentar previsiones acerca de su avance. En etapas más tardías este criterio conduce a muestras innecesariamente masivas.

Los sustratos rocosos dificultan el muestreo representativo, por lo que la mejor solución consiste en preparar superficies experimentales de contraste situadas en el mismo entorno (véase apartado 7). Como contrapartida, suelen facilitar la apreciación visual: en general, la acción biorremediadora se pone aquí de manifiesto por la aparición de halos claros que avanzan lentamente a partir de los bordes de las manchas de fuel, así como por la progresiva fragmentación de las capas inicialmente continuas a favor de las zonas de menos espesor.

En todo caso se recomienda que el seguimiento del proceso sea realizado por un equipo científico especializado y con experiencia.

▶▶ 6. LOS BIORREFUERZOS Y SUS LIMITACIONES

Uno de los aspectos más controvertidos de la biorremediación es el que se refiere a la efectividad en condiciones ambientales del eventual biorrefuerzo, técnica que, en principio, cabe poner en práctica mediante diversos recursos. La experiencia con varios tipos de inóculos bacterianos frente al fuel del *Prestige* en ambiente rocoso, produjo resultados muy inferiores a los del biorremedio oleoso sin biorrefuerzo (ver anexo 1). Sin embargo, el ambiente rocoso es un sustrato muy poco adecuado a la efectividad de cualquier biorrefuerzo, lo que impide generalizar tal experiencia a otros ambientes. En el anexo 3 se hace una referencia a esta técnica.

Ciertamente, existen numerosos indicios de que la eficacia del biorrefuerzo depende críticamente del espacio a tratar, siendo muy baja en los ambientes naturalmente pobres en microbiota, como los roquedos, porque el medio sólo es capaz de sostener muy poca biomasa adicional.

Aparentemente, como ya se indicó, la eficacia de la degradación del petróleo en tales espacios se debe a la captación aleatoria de unidades petroleolíticas procedentes del entorno, sometidas a tasas de mortalidad que impiden aumentos significativos de la biomasa activa: el modelo del proceso no es en modo alguno el de un cultivo microbiano creciendo hasta la limitación del sustrato. Así, y ya que mantener altos valores –siempre decrecientes– de biomasa activa exigiría una insistente aplicación del biorrefuerzo, que resultaría costosa en trabajo preparatorio y equipamiento, la opción más eficiente parece ser la de favorecer la captación y retención de microbiota natural. De ahí que las superficies adherentes que proporcionan los fertilizantes oleosos, junto con el resto de sus características ya mencionadas, representen el recurso más adecuado en estos espacios.

▶▶ 7. MÉTODOS PARA EVALUAR LA EFICACIA DE LOS TRATAMIENTOS

Dado el ritmo lento de la biorremediación y las características de los espacios en donde suele aplicarse, la simple apreciación visual proporciona a menudo estimaciones ambiguas y demasiado subjetivas del avance del proceso, que sin duda pueden afinarse y objetivarse recurriendo a la fotografía y técnicas de análisis de imagen. Con frecuencia, sin embargo, se necesitan valoraciones más precisas, en especial si se desea comparar la eficacia de varios recursos. En este supuesto, es preciso resolver dos problemas interrelacionados: la heterogeneidad del espacio y el criterio de evaluación, que conducen a dos tipos de situaciones en las que, de nuevo, los sustratos rocosos representan el caso más complicado.

7.1 El problema de la heterogeneidad espacial

La heterogeneidad espacial causa grandes variaciones en el grosor y adherencia de las capas de fuel, debidas a las diferentes texturas del sustrato, concavidades, rugosidades y grado de exposición de diferentes zonas a los agentes ambientales. Así, suponiendo que se establece el estado inicial del sistema muestreando en una cierta área, existen muy pocas garantías de que las muestras subsiguientes correspondan a áreas en condiciones equivalentes.

7.1.1 Suelos, biopilas

En suelos roturables básicamente planos, o en biopilas bien mezcladas, el hecho de trabajar con un material particulado razonablemente homogéneo permite aceptar la esencial equivalencia de cualquier conjunto de muestras. Además, la variabilidad puede tratarse mediante planes experimentales convencionales en el trabajo agrícola, como el cuadrado latino, que, si bien costosos por el tamaño de muestra que exigen, permiten comparaciones fiables a través de métodos estadísticos como el análisis de la varianza.

7.1.2 Roquedos

En los roquedos, en general no es posible asegurar la equivalencia muestral, por lo que tampoco tienen mucho sentido los diseños dirigidos a controlar la variabilidad. La mejor opción en tales casos consiste en preparar superficies experimentales de contraste más fácilmente manejables, en forma, por ejemplo, de paneles de baldosas que se cargan con el mismo petróleo del vertido, se sitúan en el entorno objeto de tratamiento y se someten a los procedimientos de biorremediación que se desea evaluar.

7.2 Análisis de imagen

El análisis de imagen constituye un recurso útil para objetivar la apreciación visual, que a su vez representa un modo directo, intuitivo y a muchos efectos altamente pertinente para estimar la recuperación de un espacio contaminado por petróleo. Su principal limitación deriva del hecho de que el grosor de las capas de fuel escapa a este tipo de análisis –de hecho más que al juicio visual–, por lo que la correlación de sus resultados con los de métodos realmente cuantitativos sólo es aceptable cuando las áreas a estimar se encuentran afectadas por depósitos de

Paneles de baldosas graníticas de contraste cargadas con fuel, de acuerdo con diferentes modalidades. Si el fuel no se expande como consecuencia de efectos dispersantes, la realización de la carga en dos bandas (abajo a la derecha) permite serrar la baldosa, extraer independientemente ambas partes y considerár como réplicas genuinas los correspondientes valores. En la siguiente página, a la derecha, dos baldosas intratadas (parte superior) y tratadas dos veces (parte inferior) con un biorremedio oleoso según el criterio del apartado 5.2.3, después de 4 meses de exposición a la intemperie.



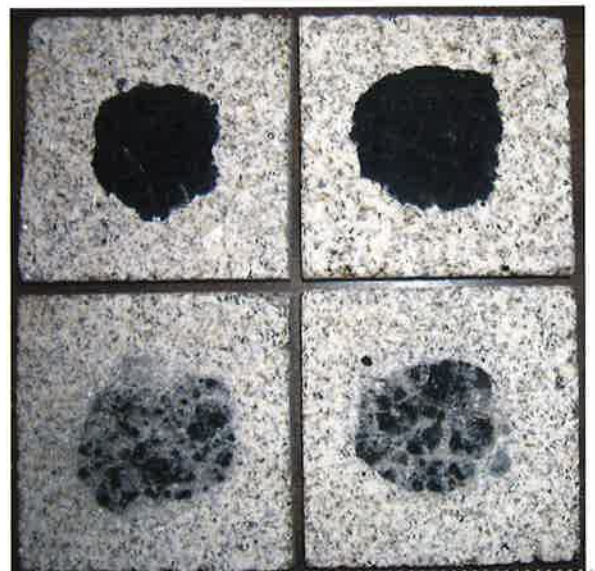
escaso espesor, o a partir del momento en que la degradación del fuel comienza a dejar zonas claras.

Un procedimiento sencillo para llevar a cabo tal análisis, implica los siguientes pasos (cuyo resultado se ilustra en la figura 2 y la tabla a ella adjunta, con un ejemplo sobre dos baldosas graníticas de contraste):

- Tomar fotografías digitales de las áreas a comparar, con el mismo campo (que debe incluir un elemento de escala), la misma resolución (conviene alta), e iluminaciones equivalentes (la opción más práctica a este respecto es el uso del flash en condiciones que eviten los puntos de ruido blanco). Si se trata de pequeñas superficies experimentales (baldosas o similares), conviene disponer de fotografías que incluyan simultáneamente elementos tratados y de control, y que los mismos controles aparezcan en las fotografías de los sometidos a los diferentes tratamientos, si los hay.

- Con cualquier software para el tratamiento digital de imágenes, aplicar a la fotografía un ajuste automático de los niveles de color, y a continuación reducir la imagen a una escala de grises. No es raro que ambas transformaciones resulten superfluas pero, en general, contribuyen a estandarizar el método y, en cualquier caso, no adulteran la traducción de los resultados de interés.

- Fijar un tamaño adecuado en píxeles para el área que se desee seleccionar, aplicar la selección a la superficie objeto y obtener el correspondiente histograma, esto es, el espectro cuya abscisa representa los valores de una escala de grises desde el negro (0) hasta el blanco (255), y cuya ordenada representa el número de píxeles, en el área seleccionada, que corresponden a una abscisa (grado de gris) dada.

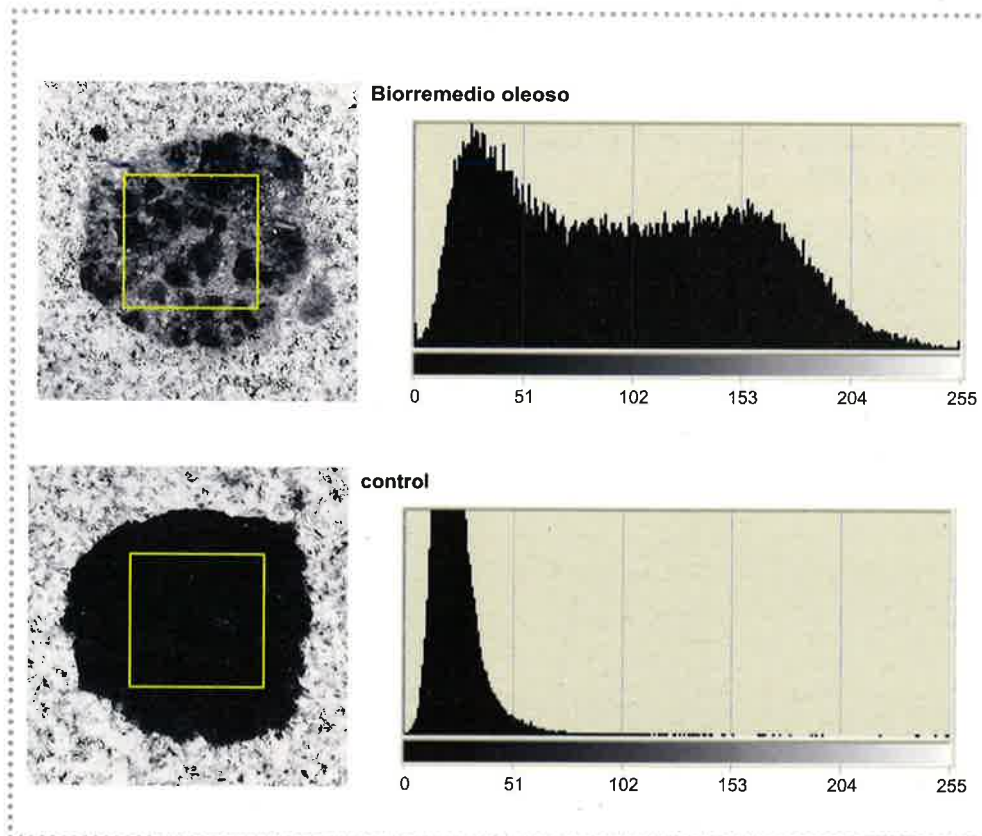


GUÍA 7

● Dividir el eje de abscisas en un número arbitrario de intervalos y tomar los percentiles correspondientes a cada uno. En la figura 2, donde se comparan dos de las baldosas que aparecen en la foto de la página 21, se presentan los histogramas junto con las correspondientes tablas de porcentajes acumulados en 5 intervalos iguales del eje de abscisas, pero es evidente que, a partir de los histogramas, pueden definirse otros criterios de comparación, así como varios posibles recursos para reducir cada imagen a un único valor representativo, bien del petróleo remanente, bien del eliminado (en el pie de la figura 2 se describe un posible criterio de este tipo).

7.3 Cuantificación del petróleo remanente

El mejor criterio de evaluación consiste en comparar, en áreas tratadas y no tratadas, el petróleo total remanente extraído con un sistema de disolventes suficien-



temente energético, como diclorometano:metanol (2:1). Sin embargo, para evitar precisamente la variabilidad debida a la heterogeneidad espacial, se han propuesto diversos índices que, en principio, son independientes de tal variabilidad, ya que se basan en las relaciones entre componentes del petróleo que muestran diferencias significativas en sus tasas de degradación.

Los protocolos de extracción, purificación y fraccionamiento de los extractos, así como el significado y manejo de dos índices habituales y los criterios para decidir lo que debe contabilizarse como contaminación remanente se describen con detalle en el anexo 4.

Percentiles correspondientes a los intervalos de abscisas que se indican (porcientos acumulados de píxeles con los matices de gris que corresponden a dichos intervalos).

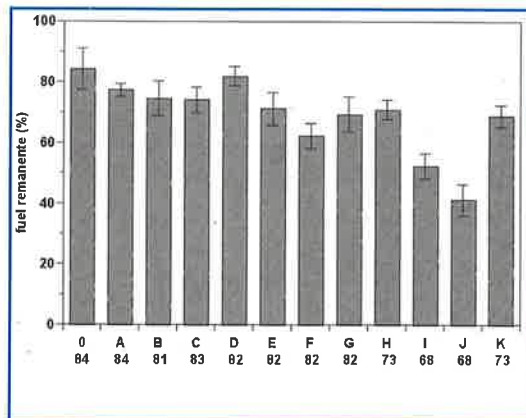
	0-51	0-102	0-153	0-204	0-255
Control	97,26	99,78	99,96	99,98	100
Tratada	28,66	53,10	78,00	97,49	100

Figura 2: Ejemplo de análisis comparativo de imágenes, según el criterio que se describe en el apartado 7.2, aplicado a dos de las baldosas que aparecen en la página 21. Nótese que a partir de los histogramas podrían elaborarse otros criterios de cuantificación, además de la tabla de percentiles. Por ejemplo: en el área delimitada por el cuadrado amarillo, el percentil del 99,9 % se alcanza, en el elemento control, a una abscisa de 114, mientras que la misma abscisa corresponde, en el elemento **tratado** con el bio-remedio (oleoso), a un percentil del 59,08 %. Así, podría decirse que la baldosa **tratada** contiene el 59,14% ($59,08 \times 100 / 99,9$) del petróleo del control (cabe señalar que el resultado obtenido por extracción fue del 59,96 %).

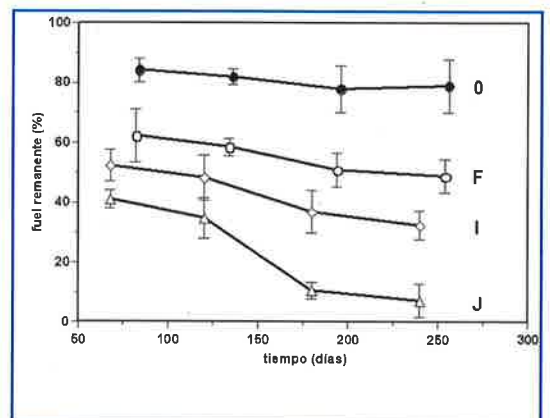
ANEXO I

Antecedentes inmediatos de la presente guía. Resultados de once tratamientos biorremediadores en baldosas graníticas cargadas con fuel del *Prestige* y situadas en un entorno rocoso supramareal, durante el periodo marzo-octubre de 2003

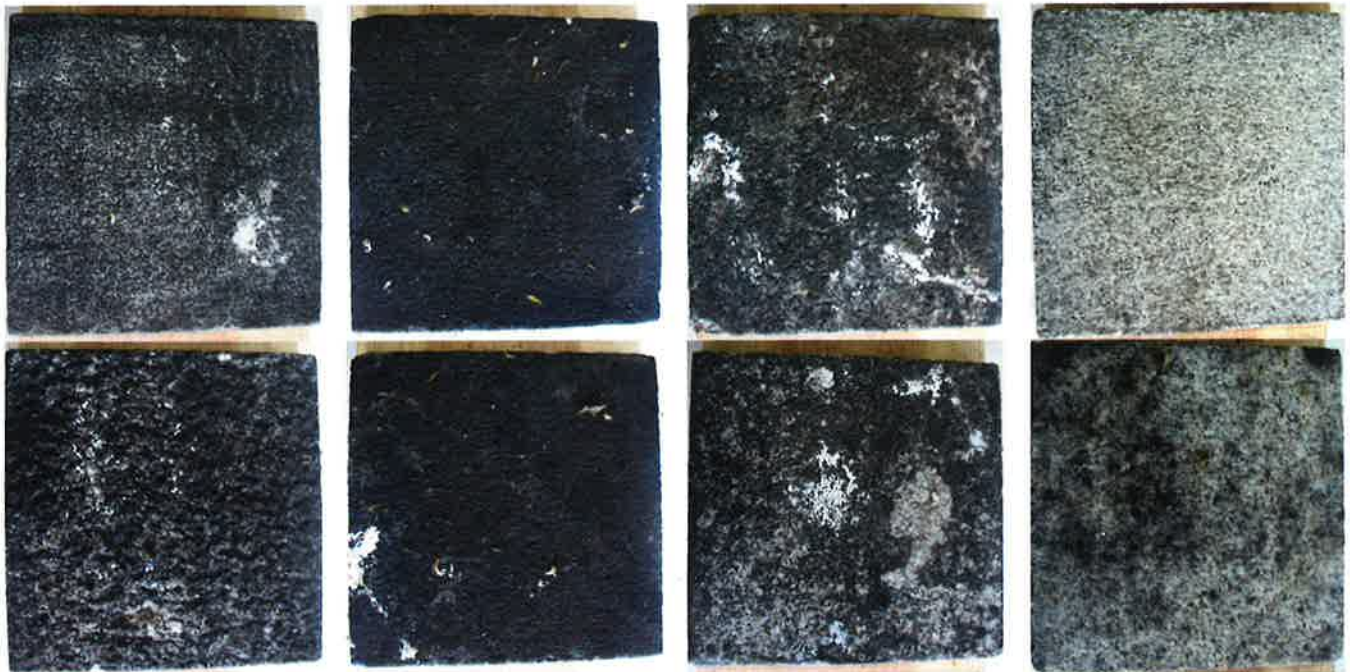
- A Tratamiento más simple: nitrato amónico, fosfato amónico y oligoelementos según el criterio 4.1.1, con un 5% de sepiolita.
- B Como A, más un cultivo bacteriano mixto (~10¹⁰ células/L) aislado de una zona afectada a las tres semanas del accidente.
- C Como B, sustituyendo la sepiolita por bentonita y un 5% de fragmentos vegetales.
- D Como C, pero en una formulación con un 10% de tensioactivos naturales.
- E Como C, más un inóculo comercial con tres cepas silvestres de *Pseudomonas putida*.
- F Como A, pero con el inóculo de *P. putida* utilizado en E.
- G Como F, con un 5% de sepiolita.
- H Como A, pero sin sepiolita, más un consorcio bacteriano comercial y un extracto vegetal de micronutrientes.
- I Como H, pero sustituyendo el consorcio comercial por otro análogo al utilizado en B.
- J Una formulación oleosa comercial de urea, éster fosfórico y butoxi-etoxi-etanol en emulsión de ácido oleico y agua.
- K Como A, pero sin sepiolita, más un inóculo arqueobacteriano comercial en un soporte arcilloso, con urea, Cu, Mn, B y Mo.



C.3.1. Efectos de los diferentes tratamientos (0: control) a los tiempos indicados (días) bajo el eje de abscisas.



C.3.2. Evolución ulterior de los tres tratamientos (0: control) seleccionados después del periodo indicado en C.3.1.



C.3.3.

Los tres tratamientos más eficaces (0: control), en un estado ligeramente anterior (0, F: 210 días; I, J: 195 días) al que corresponde a los puntos finales de la figura C.3.2.

ANEXO II

Criterios para un balance de la biorremediación

Factores favorables

1. Degrada los hidrocarburos, no limitándose a dispersarlos o trasladarlos.
2. Actúa simplemente acelerando procesos naturales, por lo que constituye un recurso que apenas introduce perturbaciones en el ecosistema. De hecho, la lentitud del proceso es uno de sus inconvenientes y la causa de que pueda considerarse ineficaz por sus efectos poco manifiestos a corto plazo. Sin embargo, evita las persistencias extraordinariamente altas del fuel en ciertos sustratos, como los rocosos, de baja actividad microbiótica.
3. Si implica sólo acciones fertilizadoras (que constituyen el factor esencial), la aplicación requiere equipamiento simple y es poco consumidora de tiempo y mano de obra.

Riesgos potenciales

- 1. Muy bajos o nulos, y sin evidencias empíricas. Así:
 - 1.1 La eutrofización por adición de fertilizantes es sólo posible en aguas cerradas o con tasas de intercambio muy bajas. Aún en tal caso, el efecto sería sólo transitorio y mucho menos perturbador del sistema que la presencia de petróleo.
 - 1.2 El biorrefuerzo con especies petroleolíticas cosmopolitas es inocuo si se atiene a las restricciones que se citan en anexo posterior.
 - 1.3 El uso de especies genéticamente modificadas se rechaza por motivos de prudencia biológica. El riesgo, sin embargo, no se asocia tanto a la amplificación de plásmidos codificadores de enzimas petroleolíticas (cuya difusión horizontal es similar a la respuesta microbiótica espontánea en un ambiente contaminado con petróleo), sino a la más problemática y peligrosa intervención en los operones (elemento de regulación que controla la expresión combinada de todos los genes de una vía o ruta metabólica, o de varias funciones metabólicas relacionadas) que rigen el mecanismo de transcripción.
- 2. La acción dispersante de algunos biorremedios oleosos es muy moderada (más que la debida al batir del oleaje), beneficiosa y de ningún modo comparable a la adición masiva de tensioactivos para lograr una limpieza rápida del entorno.
- 3. Los metabolitos intermedios que genera no difieren de los que se producen en la petroleolisis natural.

Inconvenientes reales

- 1. El proceso es lento y sólo aplicable con niveles relativamente bajos de petróleo, cuando los métodos mecánicos resultan ya ineficaces.
- 2. La eficacia es muy dependiente del tipo de sustrato a tratar, y la del biorrefuerzo casi nula en sustratos con baja actividad microbiótica en condiciones normales.
- 3. La adición de biorrefuerzos exige más equipamiento del que suele admitirse. Los biorremedios oleosos, esenciales en sustratos rocosos son relativamente caros.

ANEXO III

Problemática del biorrefuerzo y dinámica microbiana de la biorremediación

1. Los tipos básicos de biorrefuerzo

1.1 El biorrefuerzo más intuitivo e inmediato es la siembra de biomasa obtenida en cultivos puros de especies petroleolíticas. Tal recurso, sin embargo, parece demasiado esquemático, ya que la degradación del petróleo requiere secuencias de reacciones catalizadas por enzimas no necesariamente presentes en una única especie microbiana. Una petroleolisis eficiente es, de hecho, una propiedad colectiva de las poblaciones mixtas que se desarrollan espontáneamente, en pocos días, en un ambiente contaminado con petróleo. Así, más que labor de un genoma concreto, el proceso es resultado de un "ecogenoma", esto es, de un conjunto de actividades enzimáticas distribuidas en varias especies, de tal modo que cada una realiza una parte del proceso global, pero cuya viabilidad depende de capacidades no necesariamente relacionadas con los hidrocarburos.

Por otra parte, la formación de estos consorcios viene facilitada por la sexualidad bacteriana, que permite la difusión horizontal de genes, esto es, el intercambio de material genético durante los acoplamientos –no ligados a la reproducción– entre dos o más individuos, a veces de diferente especie. Así, en un ambiente sometido a la presión selectiva que impone la presencia de petróleo, se hace muy probable que, las especies capaces de acomodar información genética relacionada con la petroleolisis predominen al cabo de unas cuantas generaciones (y en un día pueden darse varias decenas de generaciones bacterianas).

1.2 Un segundo recurso, que trata de superar el esquematismo del primero, consiste en preparar biorrefuerzos por subcultivo reiterado de una población bacteriana mixta procedente de un entorno contaminado, en un medio con petróleo como única fuente de carbono. El proceso acaba llevando a un consorcio estable que, después de un periodo de oscilaciones, mantiene constantes sus proporciones de especies y su capacidad petroleolítica. Aunque técnicamente viable, la obtención de tal sistema es tarea tediosa, que exige tiempo y un mantenimiento constante sin acudir a la crioconservación, que facilitaría la labor, pero que podría comprometer la viabilidad de algunos de los componentes del consorcio.

1.3 En una tercera vía teórica, cabría la posibilidad de intervenir en el genoma de especies que, en estado silvestre, ya son buenas degradadoras de hidrocarburos para aumentar su eficacia. En cualquier caso, por elementales motivos de prudencia y para evitar riesgos biológicos, a la microbiota de los eventuales biorrefuerzos se le ha impuesto siempre el siguiente conjunto de restricciones:

- **No manipulada genéticamente**
para evitar la difusión horizontal de material genómico alterado
- **No fotosintética**

para impedir su supervivencia al margen de la materia orgánica

- **No parásita**

para impedir su refugio en otras entidades biológicas

- **No productora de esporas o propágulos resistentes**

para impedir posibles rebrotes desde estados de latencia

Al margen de su posible riesgo biológico, esta tercera aproximación pretende introducir en una única especie un paquete de códigos enzimáticos capaz de catalizar todo un conjunto de reacciones petroleolíticas. Hemos de considerar, a mayores, que la posesión de los códigos enzimáticos no asegura su expresión real; su expresión real no asegura la catálisis efectiva (que puede requerir energía no obtenible de los sustratos presentes, o cofactores ausentes, como metabolitos tensioactivos que hagan bioaccesibles los hidrocarburos); al cabo, las condiciones naturales en las que debe desarrollarse el proceso biorremediador, pueden carecer de los acoplamientos metabólicos necesarios para mantener la viabilidad del biorrefuerzo, presentar los suficientes para excluirla, ser simplemente hostiles o estar sujetas a variaciones demasiado acusadas.

2. Dinámica del biorrefuerzo

Las aproximaciones descritas son poco relevantes en algunos de los entornos en donde la biorremediación resulta más necesaria, como los entornos rocosos que ocupan este procedimiento. De un modo esquemático puede decirse que aquellos ambientes que, en condiciones normales sostienen una actividad microbiótica intensa, responden bien a la fertilización y al biorrefuerzo, sin acusar demasiado las dificultades asociadas a la formación de consorcios complejos ya que, numerosos microorganismos petroleolíticos cosmopolitas pueden integrarse en la diversidad bioquímica del medio. Por el contrario, ni fertilización ni biorrefuerzo logran resultados análogos en entornos habitualmente pobres en microbiota. Si pensamos en las diferencias de fertilidad entre –por ejemplo– un huerto y una playa, o un bosque y un acantilado, percibimos de modo intuitivo que la presencia de petróleo y fertilizantes no puede hacer de un arenal o un roquedo, un sustrato de actividad biológica comparable a la de un suelo vegetal o de labor.

Así pues, para aproximarse al valor de los biorrefuerzos conviene tener en cuenta las siguientes regularidades, extraídas de actuaciones concretas en diversos ambientes naturales:

- 2.1 La petroleolisis sigue en general una cinética de primer orden (exponencial negativa).
- 2.2 El biorrefuerzo no cambia el perfil cinético de la petroleolisis ya que, incluso cuando demuestra mejorar la eficacia de la fertilización, dicha mejora exige, por lo general, adiciones reiteradas y relativamente masivas, y se traduce simplemente en un aumento de la tasa de degradación (la constante de velocidad).

● 2.3 La biomasa de las áreas tratadas tiende a permanecer estacionaria lo que, en conjunción con los dos puntos precedentes, implica que la dinámica del proceso biorremediador no es la de un cultivo microbiano sin limitaciones nutricionales, donde una biomasa inicial aumenta con cinética autocatalítica (logística) y la fuente de carbono desaparece de modo correlativo con este aumento. Pese al aparente exceso de nutrientes, el biorrefuerzo se comporta más bien como una biomasa estacionaria en un proceso en que la fuente de carbono (el petróleo) sólo permite una moderada velocidad específica de crecimiento, y la mortalidad equilibra la biomasa activa, impidiendo el inicio de una fase exponencial.

● 2.4 La relación entre microbiota cultivable y total, así como la variación estacional, son factores importantes para valorar la pertinencia del biorrefuerzo. En efecto, la microbiota procedente de baldosas de contraste utilizadas en ensayos se estudiaron por métodos clásicos de cultivo y por métodos moleculares, poniéndose de manifiesto que:

- Después de periodos de 20-30 días, la microbiota cultivable por unidad de superficie asociada a las adiciones de biorrefuerzos decaía hasta los valores propios de las áreas intratadas. Después 40-60 días desaparecía asimismo la "personalidad" de los diferentes biorrefuerzos, evaluada por análisis de agregados, con lo que las microbiotas de todas las áreas, incluidas las no tratadas, se parecían más entre sí que a ellas mismas dos meses antes. Ello demostró no sólo la escasa estabilidad de los biorrefuerzos, sino una variación estacional de cierta entidad.

- Aunque las áreas tratadas con fertilizante oleoso no fueron una excepción a esta deriva, los valores de dos índices de diversidad habituales (índice de Shannon e índice de Simpson) resultaron en general más altos que en el resto de los tratamientos.

- Por otra parte, la biorremediación resultó, también en general, más eficaz en zonas de influencia terrestre (cercanas a bosque o a monte bajo) que en las expuestas a ambiente predominantemente marino.

- El número de especies cultivables fue siempre inferior al de tipos de ADN detectados en los ambientes tratados (a menudo la relación, aunque muy variable, se aproximó a 1/10). Ello sugiere que la petroleolisis no sólo es explicable en función de las especies cultivables presentes, sino de otras no cultivables con las actuales técnicas de cultivo. Apoya esta hipótesis el hecho de que un biorrefuerzo preparado con tres especies aisladas de baldosas tratadas con biorremedio oleoso, no aumentó significativamente la eficacia en el laboratorio.

ANEXO IV**Métodos para evaluar la eficacia de los tratamientos****1. Protocolos de extracción, purificación y fraccionamiento de las muestras**

La figura 3 resume los recursos preanalíticos y analíticos aplicables a muestras ambientales (o baldosas de contraste como las de las fotos de la página 21) contaminadas con petróleo. En general, y siempre que sea posible, deben procesarse muestras que contengan una cantidad total de petróleo no inferior a 2 g., a fin de obtener fracciones a las que puedan aplicarse, tanto los índices analíticos que se describen a continuación, como procedimientos gravimétricos resultando, estos últimos, los más sencillos y, en definitiva, los que mejor se correlacionan con la apreciación visual o con los resultados del análisis de imagen.

Los análisis cromatográficos (preferentemente CGL y mejor gases-masas, pudiendo utilizarse HPLC para la fracción de hidrocarburos poliaromáticos), exigen los pasos previos de purificación y fraccionamiento por los procedimientos de reparto o cromatografía de adsorción (en columnas de sílica-gel o alúmina), asimismo esquematizados en la figura 3. Pueden proporcionar información relativa a detalles de la biodegradación y son útiles como recursos confirmatorios, pero en general no son necesarios para el seguimiento de la biorremediación que, en la mayor parte de su duración, implica niveles muy altos de petróleo, fácilmente detectables por métodos menos sensibles (y a menudo menos sensibles también al error experimental). Pueden ser pertinentes, sin embargo, para detectar niveles residuales de hidrocarburos en tejidos de la biota circundante.

Cuando se utilizan biorremedios oleosos, se hace necesario eliminar de la fracción desasfaltada los restos de sus aceites. La saponificación con potasa metanólica y subsiguiente reparto entre agua y hexano, deja en la fracción acuosa los correspondientes jabones, debiendo someterse a continuación el extracto en hexano a una purificación adicional en una columna de sílica-gel.

Existen, como quedó señalado en el apartado 7, diversos índices que no sólo permiten tipificar las características del proceso de degradación del petróleo, sino que resultan en buena medida independientes de la variabilidad inevitablemente asociada a las muestras de ciertos ambientes. A continuación se describe el significado, uso y limitaciones de dos particularmente útiles para el seguimiento de una actuación biorremediadora.

2. El índice *B* (relación alcanos/isoalcanos)

Su fundamento es el siguiente: el punto de ebullición de los alcanos aumenta con el peso molecular y desciende con las ramificaciones, que dificultan el empaquetamiento de las moléculas, mientras la biodegradación de los alcanos ramificados es más lenta que la de los lineales, ya que las enzimas de la oxidación beta quedan bloqueadas en los nudos, requiriendo procesos adicionales para eliminar las ramas. De ahí que, si bien más pesados, los alcanos ramificados pristano y fitano tengan los mismos

PROCEDIMIENTO PARA LA ACTUACIÓN CON TÉCNICAS DE BIORREMEDIACIÓN EN ENTORNOS ROCOSOS IMPREGNADOS CON FUEL

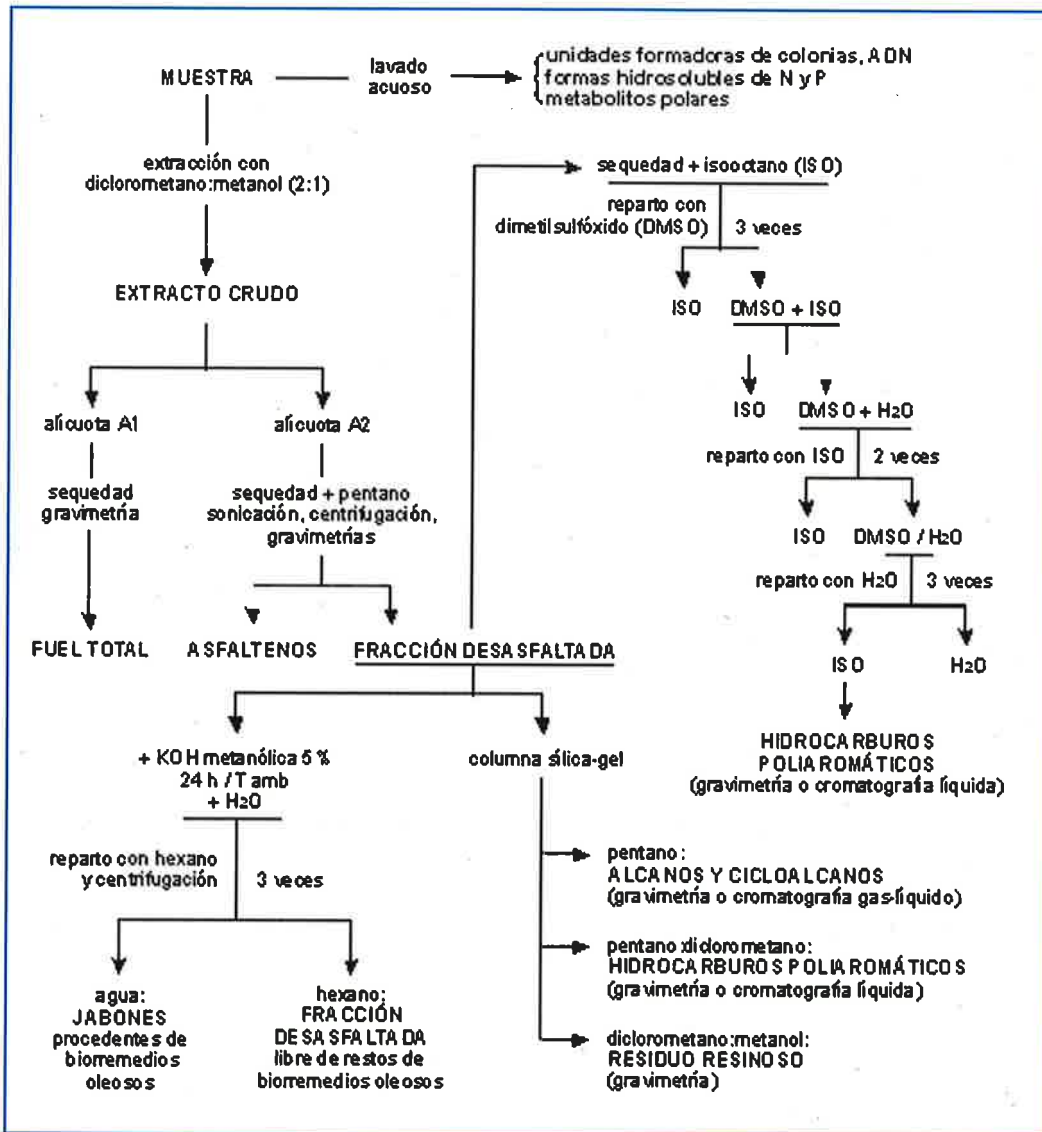


Figura 3: Tratamiento de baldosas de contraste y fraccionamiento de los extractos de fuel total en los cuatro grupos principales de componentes (alcanos más cicloalcanos, hidrocarburos aromáticos, resinas y asfaltenos). Los extractos crudos se obtienen manteniendo las baldosas en recipientes cerrados de vidrio con diclorometano:metanol (2:1), 24 horas a 20°C, con suave agitación rotatoria. Las vías redundantes (como la cromatografía en sílica-gel y el reparto ISO/DMSO/agua) se aplican sólo con objetivos confirmatorios. Por otra parte, la saponificación de la fracción desasfaltada –que a menudo debe complementarse con una cromatografía de adsorción en sílica-gel– es imprescindible en el caso de los tratamientos oleosos, para eliminar los restos de la formulación.

GUÍA 7

puntos de ebullición que los lineales heptadecano y octadecano, respectivamente. Así, la relación:

$$B = \frac{\text{heptadecano} + \text{octadecano}}{\text{pristano} + \text{fitano}}$$

tiende a permanecer constante frente a los efectos evaporativos y a descender frente a los biodegradativos. De este modo, la comparación de los valores de B en una muestra del petróleo original y otra expuesta a los factores ambientales, proporciona un criterio que permite atribuir o no a la acción biológica el estado de degradación de la segunda.

El índice B es sin duda útil y puede obtenerse fácilmente por cromatografía gas-líquido de la fracción de alcanos de un fuel pesado o, incluso, de un extracto crudo de un petróleo tipo Brent o de un gas-oil. Con todo, su valor es limitado, ya que su variación acusa, como se dijo, la actuación de mecanismos biológicos, pero no es estrictamente representativa del estado del sistema. Tanto los elementos lineales como los ramificados citados están lejos de ser los componentes más estables de un petróleo, por lo que un valor $B=0$ no implica la eliminación de la contaminación.

3. El índice R (relación fracción desasfaltada/fuel total)

En trabajos de laboratorio es frecuente utilizar hopanos como elementos de contraste con tasa de degradación despreciable, propiedad que asimismo puede atribuirse a los asfaltenos (definidos operacionalmente como aquella fracción del petróleo insoluble en pentano y soluble en hidrocarburos aromáticos, como benceno o tolueno). De este modo, la relación:

$$R = \frac{\text{fuel total} - \text{asfaltenos}}{\text{fuel total}} = \frac{\text{fracción desasfaltada}}{\text{fuel total}}$$

puede traducir aceptablemente el avance de un proceso biorremediador, permitiendo determinar, con el supuesto adicional de una cinética de primer orden, la tasa de degradación media del conjunto de los componentes degradables. En el cuadro adjunto se resume el modo en que debe aplicarse y se señalan sus inconvenientes, asimismo relacionados con el hecho de que ni siquiera los asfaltenos permanecen invariables a lo largo del tratamiento.

4. Qué debe contabilizarse como contaminación remanente

Por último, a veces se discute la pertinencia o no de contabilizar como contaminación remanente el conjunto de los compuestos hidroxilados o carboxilados que resultan de la oxidación biológica de los hidrocarburos (alifáticos o aromáticos). Cuando se trata de alcoholes o ácidos lineales de cadena corta, parece claro que no cabe tipificarlos como contaminantes en la misma categoría que el petróleo. Sin embargo, cuando

se trata del resultado de una hidroxilación o, incluso, de una ruptura dicarboxílica sobre un anillo bencénico de un compuesto poliaromático de alto peso molecular, parece claro asimismo que, aun habiendo aumentado su bioaccesibilidad, no puede considerarse como producto final del proceso de degradación.

A este respecto, el protocolo operatorio esquematizado en la figura 3, aplicable como paso previo a cualquier criterio de evaluación que se decida, contiene asimismo recursos que resuelven razonablemente esta discusión. En efecto, si los grupos polares introducidos por la oxidación representan una fracción importante de la molécula, ésta será arrastrada en el lavado acuoso inicial tanto más eficientemente cuanto mayor sea su hidrofilia, con el consiguiente reflejo cuantitativo en el extracto orgánico. Por el contrario, si tales grupos polares representan una fracción poco significativa (como puede ocurrir en los HPA de alto peso molecular), el derivado pasará, y de modo justificado desde el punto de vista toxicológico, al extracto orgánico del fuel.

Aplicación y limitaciones del índice R_t

Aceptando que, del fuel total (T), sólo la fracción desasfaltada (D) es degradable, manteniéndose los asfaltenos por largo tiempo en su valor inicial (A_0), puede definirse un índice normalizado R_t (siendo t un subíndice temporal) que traduciría aceptablemente el progreso de la degradación:

$$R_t = \frac{(T_t - A_0)/T_t}{(T_0 - A_0)/T_0} 100 = \frac{D_t/T_t}{D_0/T_0} 100 \quad [1]$$

Si, como es usual, se acepta que la degradación sigue, como media, una cinética de primer orden con velocidad específica r , podemos escribir:

$$D_t = D_0 \exp(-rt) \quad [2]$$

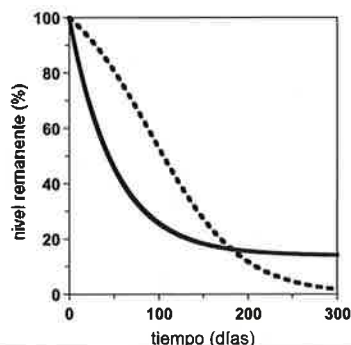
por lo que el índice normalizado R_t obedecerá la ecuación:

$$R_t = \frac{D_t/T_t}{D_0/T_0} 100 = \frac{100}{b_0} \frac{D_0 \exp(-rt)}{A_0 + D_0 \exp(-rt)} ; \text{ donde } b_0 = D_0/(D_0 + A_0) \quad [3]$$

expresión utilizable, si disponemos de una serie de valores de R_t , para estimar la tasa de degradación r , así como la vida media ($t_{1/2}$), o tiempo necesario para que el valor inicial del índice ($R_{t=0}=100$) descienda a la mitad. En efecto, haciendo $R_t=50$ en [3] y despejando t , se obtiene:

$$t_{1/2} = \frac{1}{r} \ln \left[\frac{D_0(2 - b_0)}{A_0 b_0} \right] \quad [4]$$

Debe tenerse en cuenta que, si bien útil para suavizar el error experimental, el índice R_t es menos discriminativo que el valor del fuel remanente, ya que R_t decrece con el tiempo menos acusadamente que la fracción degradable. La figura adjunta ilustra el caso con una simulación de las caídas de T_t (línea continua) y R_t (línea de puntos) con $A_0=14$ y $D_0=86$ (valores aproximados para el fuel del *Prestige* en las rocas), suponiendo un valor arbitrario de $r=0,02$ para la velocidad específica. Naturalmente, el realismo de este cálculo depende del supuesto de una cinética de primer orden para la degradación de la fracción desasfaltada (que incluye componentes de diferente estabilidad). Además, es obvio que R_t pierde validez si los asfaltenos varían como consecuencia directa o indirecta del proceso de biorremediación.



Recomendaciones para la recogida y transporte de aves petroleadas

▶▶ 1. INTRODUCCIÓN

El presente manual tiene por objeto aportar una serie de recomendaciones básicas que guíen la toma de decisiones e identifiquen algunas buenas prácticas, durante la ejecución de parte de los trabajos que debe asumir un dispositivo de respuesta para aves, activado tras un vertido de petróleo en el mar. Está dirigido tanto a aquellas personas con cargos de responsabilidad en la gestión del accidente, como a todas aquellas que puedan verse inmersas en un operativo oficialmente coordinado, reconocido y englobado en un organigrama de respuesta general.

Sólo se han tratado específicamente las aves marinas, las más afectadas por lo general en un vertido; existen sin embargo otros grupos como el de las limícolas y el de las aves acuáticas (patos y garzas), que también se pueden ver afectados, aunque en menor grado. Para ellos son igualmente aplicables todos los procedimientos descritos.

El manual se compone de dos partes claramente diferenciadas; en la primera se pretende guiar la toma de decisiones en la definición de estrategias para prevenir que el petróleo afecte a las aves y a sus hábitat; en la segunda se tratan diferentes aspectos relacionados con la arribada de aves a la costa.

Tras un vertido de petróleo es posible ejecutar toda una serie de trabajos para minimizar los efectos negativos que ejercen sobre las aves, pero resulta de suma importancia separar claramente lo que es la ejecución de medidas que a priori pueden tener un efecto significativo en la conservación a nivel poblacional de las especies afectadas, de los trabajos de rescate y rehabilitación demandados por la sociedad en general pero que carecen, en la mayoría de las ocasiones y a la vista de los resultados que se exponen más adelante, de efecto significativo en la preservación de las especies. Tras un accidente es necesario abordar estos últimos trabajos pero, sobre todo, es imprescindible determinar el alcance a nivel poblacional de los efectos del vertido y la puesta en práctica de medidas que faciliten la recuperación de las especies afectadas, por la responsabilidad común

Gaviota patiamarilla con manchas de fuel en el plumaje.





de mantenerlas en un estado de conservación favorable.

Conviene recordar también las diferencias existentes entre la tasa de recuperación de ejemplares con la tasa de liberación, términos con frecuencia confundidos y equiparados, que impiden valorar en su justa medida lo conseguido con un operativo de rescate y rehabilitación de aves. La tasa de recuperación es un valor difícil de calcular, y se refiere a los ejemplares que logran reincorporarse de manera dinámica a la población, mientras que la tasa de liberación hace referencia exclusivamente a aquellos ejemplares que se sueltan tras ser tratados en los centros de rehabilitación, cuya suerte final es una incógnita.

Las tasas de liberación son muy variables y se ven afectadas por multitud de circunstancias, entre las que se encuentra el tipo de petróleo derramado, el lugar donde se produjo, el grado de toxicidad, la rapidez de la respuesta, la experiencia de los equipos implicados, las condiciones climatológicas, la temperatura o la cantidad de ejemplares a tratar, entre otros.

Uno de los problemas comunes a la hora de evaluar los efectos del vertido sobre las poblaciones de aves marinas en particular pero, también, para el resto de organismos vivos en general, es la ausencia de buenas series de datos temporales de parámetros con significado ecológico que puedan ayudar a documentarlos y comprenderlos. El establecimiento de programas de seguimiento de determinadas variables, sobre una base temporal y geográfica adecuada, ayudará a comprender y valorar, no sólo los efectos de un vertido, sino también los de cualquier otro incidente de carácter estocástico que pueda acontecer.

Además, todo operativo de respuesta que se ponga en práctica debe fijar, con claridad, los objetivos que pretende y establecer el nivel de prioridad de cada uno de ellos. Son objetivos generales de un plan de respuesta para aves:

- a) Proteger de la contaminación a las aves y a sus hábitat.
- b) Minimizar el impacto sobre las aves y sus hábitat.
- c) Cuantificar y evaluar de forma precisa los daños originados, para poder exigir responsabilidades, solicitar indemnizaciones y activar la puesta en práctica de medidas de restauración.
- d) Minimizar el sufrimiento animal (rehabilitación o eutanasia).
- e) Minimizar los daños que se puedan originar en las operaciones de limpieza.

▶▶ 2. CÓMO AFECTA EL VERTIDO DE PETRÓLEO A LAS POBLACIONES DE AVES MARINAS

Conviene recordar, aunque sea brevemente, cómo puede afectar un vertido a las poblaciones de aves marinas. Un vertido de petróleo puede producir efectos directos e indirectos. Los efectos directos son quizá los más obvios y espectaculares, ya que producen la muerte de aquellos ejemplares que se impregnan con el petróleo o lo ingieren en grandes cantidades. Los efectos indirectos pasan generalmente desapercibidos, y no se les ha prestado toda la atención que merecían hasta el vertido del *Exxon Valdez* en Alaska en el año 1990. Son, incluso, más importantes que los primeros ya que, a largo plazo, pueden condicionar y limitar la recuperación de las especies (ver

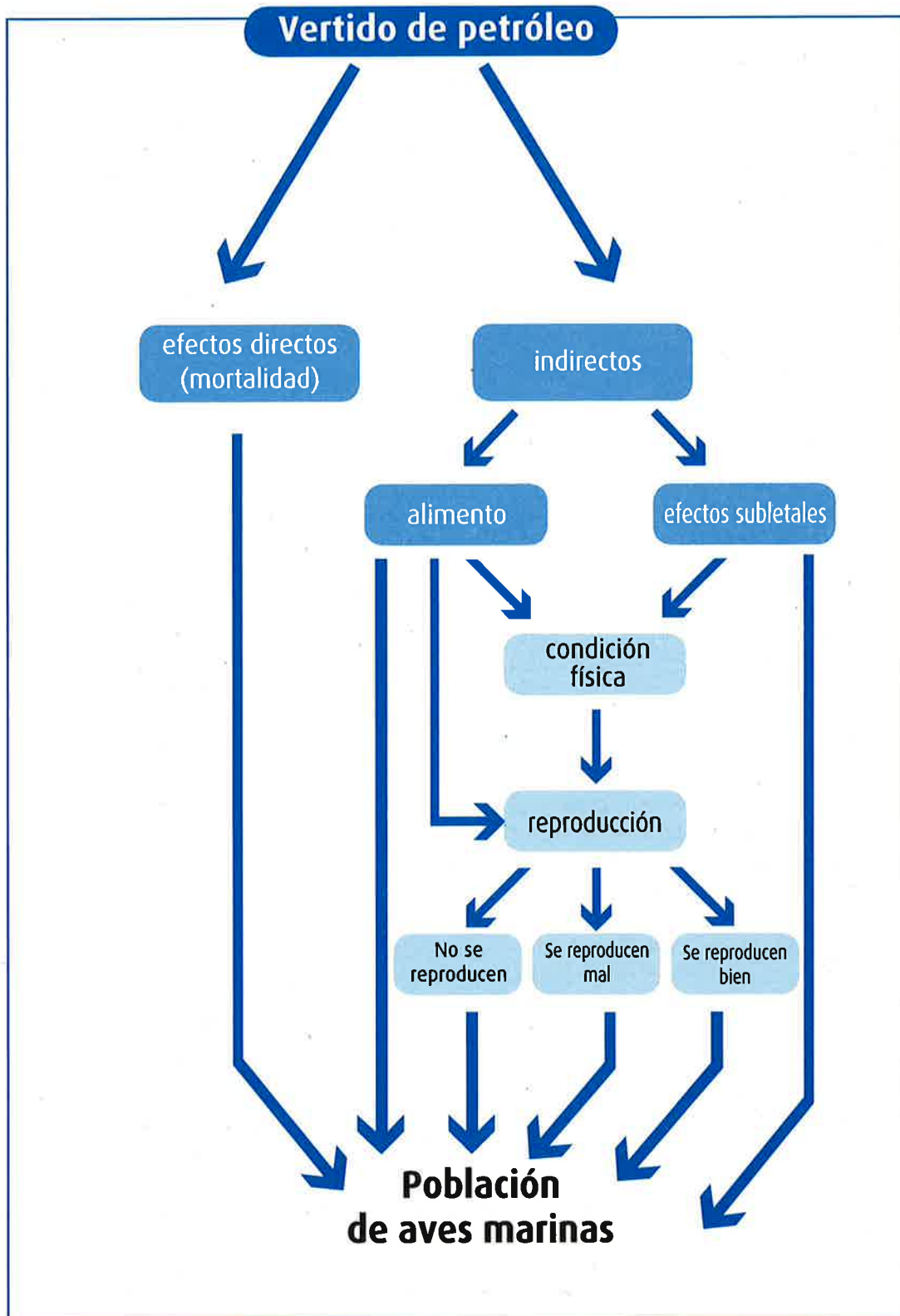


Figura 1. Efectos del vertido de petróleo sobre las aves marinas (modificado de Arcea, 2003).

por ejemplo Esler *et al.*, 2002; Golet *et al.*, 2002). La persistencia de contaminantes en el ecosistema puede afectar tanto a la disponibilidad de alimento (ver por ejemplo Velando *et al.*, 2005) como producir alteraciones fisiológicas (efectos subletales), que, en último término, incrementan el número de bajas. Ambos factores repercuten además en el proceso reproductivo, bien directamente o a través de la disminución de la condición física de los ejemplares; así, en el momento de la cría, las aves adultas pueden no reproducirse o hacerlo mal (ver Figura 1).

▶ 3. PRIMERA PARTE

Tras un accidente en el mar, los momentos inmediatamente posteriores al mismo, bien sean horas o días, son de vital importancia para la consecución de resultados satisfactorios en la minimización de los efectos del vertido sobre las aves y sus hábitat. Son momentos críticos en los que se trabaja con tensión y en los que resulta de gran importancia la toma de decisiones justificadas y correctas. En esta primera parte se desarrolla una pequeña guía de ayuda para poder llegar a ellas.

3.1. Guía para la definición de las mejores estrategias para prevenir que el petróleo afecte a las aves y a sus hábitat

Ante un accidente que implique el vertido de petróleo al medio marino, las personas que deben dirigir los trabajos de lucha contra la contaminación van a plantearse la pregunta ¿qué vamos a hacer?. Para poder superar esta primera fase, se propone responder a todas las posibles dudas que a continuación se plantean, con el objetivo de que nos conduzcan al diseño y establecimiento de las mejores estrategias de actuación para proteger a las aves y a sus hábitat.

1. ¿Dónde se ha producido el vertido?

Debemos conocer la ubicación más exacta posible del lugar en el que se ha producido el vertido, si ha sucedido cerca o lejos de la línea costera, en el interior de un puerto, de una bahía o de una ría.

2. ¿Cuál es la magnitud del accidente?

Aunque la cantidad de petróleo vertido no guarda relación directa con la magnitud del daño causado (Burger, 1993), sí va a resultar útil conocer o, en su defecto, prever la superficie marina o la longitud de la línea costera que van a verse afectadas, ya que nos va a ayudar a determinar el alcance que puede llegar a tener el accidente sobre las aves.

3. ¿Qué trayectorias pueden seguir las manchas de petróleo?

Cuando el vertido se produce lejos de la costa, es muy útil conocer las trayectorias que se estima van a seguir las manchas, dónde se espera que vayan a contactar en tierra y el tiempo que van a tardar en hacerlo.

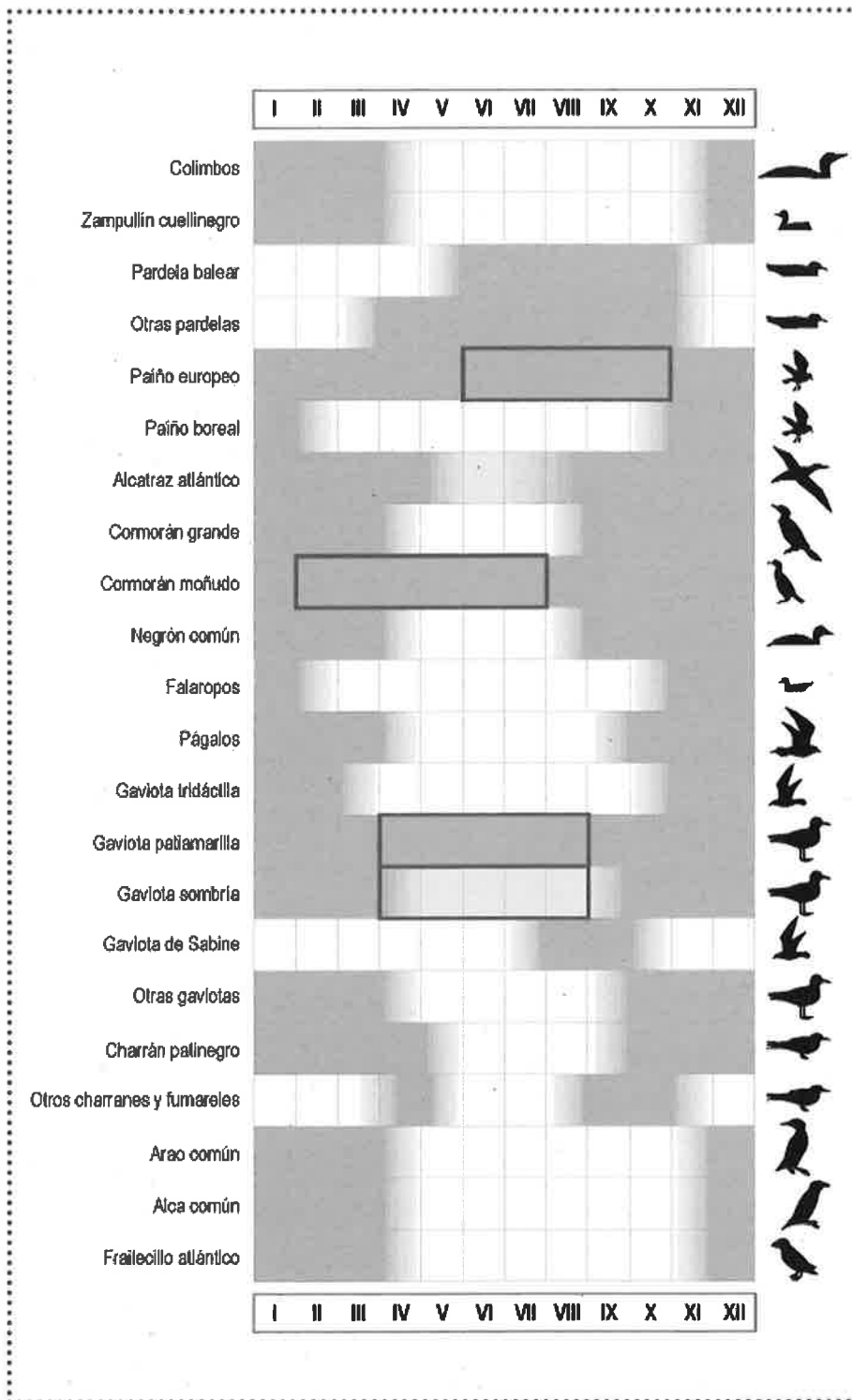


Figura 2. Cuadro fenológico para las especies o grupos de especies de aves marinas presentes en las costas atlánticas peninsulares españolas. Los trazos más gruesos acotan, de manera aproximada, los períodos de reproducción (Arcea, elaboración propia).

4. ¿En qué ámbito geográfico me encuentro?

Los posibles efectos de un vertido de petróleo al medio marino se van a ver notablemente condicionados por el ámbito geográfico en el que se haya producido ya que, en cada uno de ellos, se desenvuelven diferentes comunidades de aves marinas. En la presente guía se han considerado tres ámbitos diferentes: las costas atlánticas peninsulares, la costa mediterránea y las islas Canarias, aunque se pueden llegar a establecer otros más precisos.

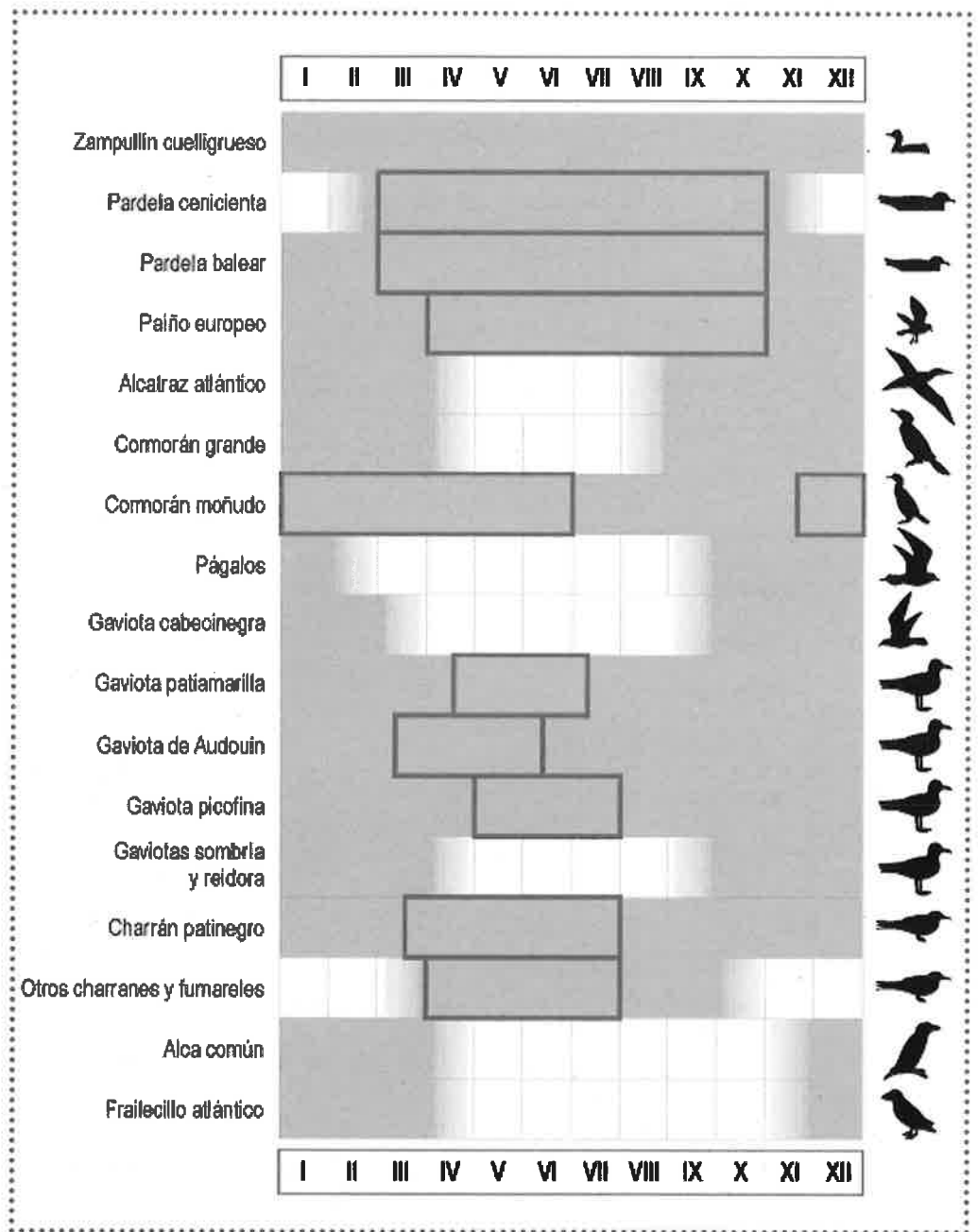


Figura 3. Cuadro fenológico para las especies o grupos de especies de aves marinas presentes en la costa mediterránea. Los trazos más gruesos acotan, de manera aproximada, los períodos de reproducción (Arcea, elaboración propia).

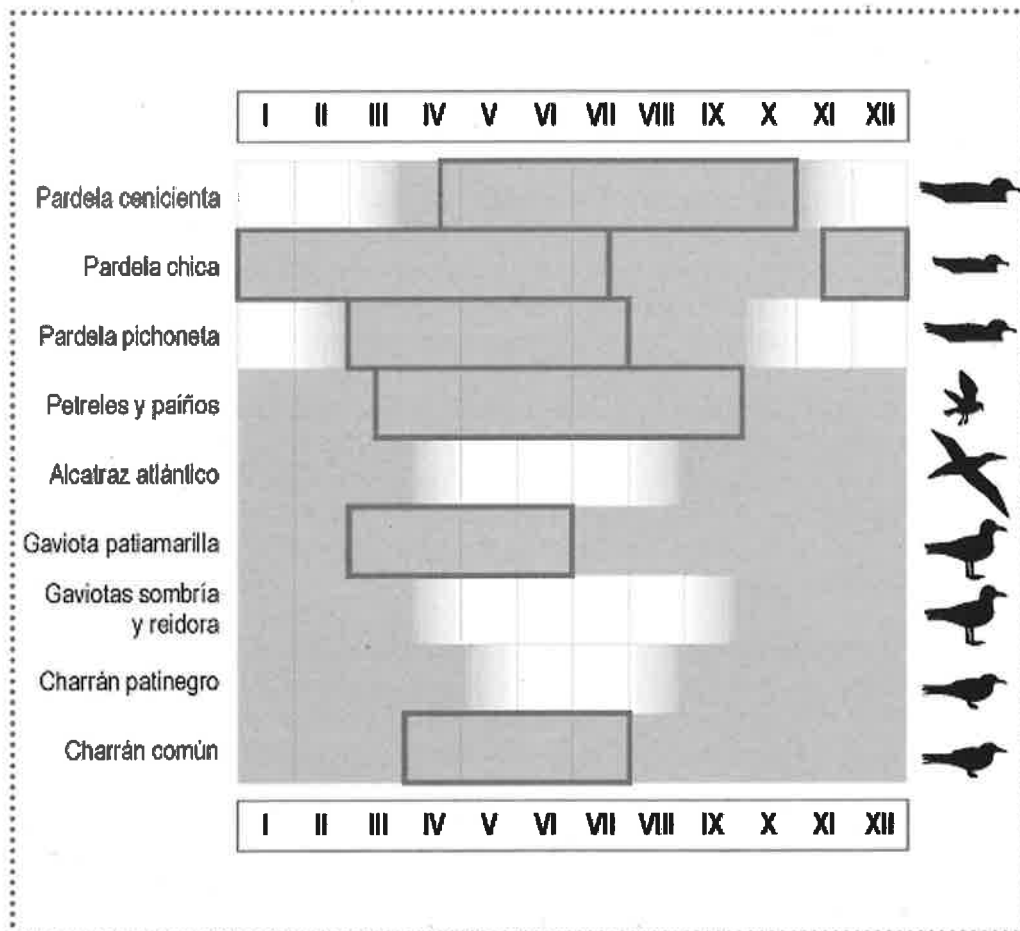


Figura 4. Cuadro fenológico para las especies o grupos de especies de aves marinas presentes en las islas Canarias. Los trazos más gruesos acotan, de manera aproximada, los períodos de reproducción (Arcea, elaboración propia).

❖ 5. **¿En qué época se ha producido el vertido?**

Se debe ser consciente de la fecha en la que se ha producido el vertido, ya que el alcance potencial de los efectos sobre las aves va a verse notablemente influenciado por la época del año. Puede estar afectando a especies que se estén reproduciendo, que se encuentren en sus cuarteles de invernada o, simplemente, que se estén desplazando entre éstos y los de cría.

❖ 6. **¿Qué especies están presentes?**

Es preciso conocer previamente las especies que están presentes al menos en el área geográfica del vertido. Esta información se puede obtener, de manera aproximada, en las Figuras 2, 3 y 4, a una escala mensual, donde también se especifica la época de reproducción de las especies que lo hacen en nuestras latitudes ya que, en cada uno de ellas, se desenvuelven diferentes comunidades de aves marinas. En la presente guía se han considerado tres ámbitos diferentes: las costas atlánticas peninsulares, la costa mediterránea y las islas Canarias, aunque se pueden llegar a establecer otros más precisos.

GUÍA 8

7. ¿Qué especies son las de mayor sensibilidad?

Debo conocer cuáles son las especies más susceptibles de sufrir daños significativos, sobre las que se deberían canalizar los mayores esfuerzos de prevención y lucha contra la contaminación. En las Tablas 1, 2 y 3 se pueden consultar aquellas especies potencialmente más sensibles a los efectos de un vertido de petróleo. Han sido ordenadas de mayor a menor sensibilidad, de acuerdo al cálculo de un índice que ha tenido en cuenta la categoría asignada a cada especie en el Libro Rojo de las Aves de España (Madroño *et al.*, 2004), el tamaño de la población biogeográfica que converge en cada área, su fenología, características reproductivas (tamaño de puesta y edad de la primera reproducción) y dependencia del medio marino, modificando parcialmente la metodología propuesta por Williams *et al.* (1995).

8. ¿Qué medios ocupan las especies más sensibles?

Se deben identificar, al menos para las especies más sensibles presentes en la época del accidente, qué grandes medios seleccionan. Por ejemplo si se localizan en el interior de rías, en grandes ensenadas o en mar abierto. En el Anexo I se recogen unas breves indicaciones al respecto para cada grupo de aves marinas presentes en España.

9. ¿Qué distribución y abundancia local presentan las especies más sensibles?

Resulta de gran interés conocer, de forma precisa, la distribución y abundancia de las aves; por ejemplo, en un área donde existan varias ensenadas o rías, es posible que algunas sean ocupadas con mayor frecuencia que otras, o alberguen un mayor número de ejemplares, o que se concentren exclusivamente en determinados sectores.

Cormorán
moñudo
petroleado.



10. ¿Cuáles son los puntos críticos de acuerdo a la bioecología de las especies más sensibles?

Hay lugares o áreas concretas que, de acuerdo a la biología y ecología de cada especie, resultan críticas ante un vertido de petróleo, ya que en ellas se suelen concentrar con frecuencia números importantes. Se deben identificar reposaderos, zonas habituales de alimentación o colonias de cría, entre otros.

Los mapas de sensibilidad costeros recogen pormenorizadamente la información que se precisaría para poder responder a las tres últimas preguntas, siendo imprescindible su preparación si se desea luchar de la manera más eficiente posible contra un vertido de petróleo. Los índices de sensibilidad de cada especie constituyen una componente fundamental en las confección de estos mapas.

Los mapas de sensibilidad pueden confeccionarse a muy diferente escala; en la Figura 5 se puede consultar el ejemplo hipotético de uno de ellos.

RECOMENDACIONES PARA LA RECOGIDA Y TRANSPORTE DE AVES PETROLEADAS

ESPECIE	ISP
Pardela balear (<i>Puffinus mauretanicus</i>)	29
Cormorán moñudo (<i>Phalacrocorax aristotelis</i>)	27
Colimbo grande (<i>Gavia immer</i>)	26
Pardela chica (<i>Puffinus assimilis</i>)	25
Charrancito común (<i>Sterna albifrons</i>)	24
Págalo grande (<i>Catharacta skua</i>)	24
Pardela sombría (<i>Puffinus griseus</i>)	24
Charrán patinegro (<i>Sterna sandvicensis</i>)	23
Falaropo picogruoso (<i>Phalaropus fulicarius</i>)	23
Gavión atlántico (<i>Larus marinus</i>)	23
Pardela cenicienta (<i>Calonectris diomedea</i>)	23
Pardela pichoneta (<i>Puffinus puffinus</i>)	23
Colimbo chico (<i>Gavia stellata</i>)	22
Fumarel cariblanco (<i>Chlidonias hybridus</i>)	22
Paíño boreal (<i>Oceanodroma leucorhoa</i>)	22
Paíño europeo (<i>Hydrobates pelagicus</i>)	22
Alcatraz atlántico (<i>Morus bassanus</i>)	21
Fumarel común (<i>Chlidonias niger</i>)	21
Gaviota enana (<i>Larus minutus</i>)	21
Gaviota picofina (<i>Larus genei</i>)	21
Págalo parásito (<i>Stercorarius parasiticus</i>)	21
Colimbo ártico (<i>Gavia arctica</i>)	20
Charrán común (<i>Sterna hirundo</i>)	20
Gaviota patiamarilla (<i>Larus michahellis</i>)	20
Gaviota sombría (<i>Larus fuscus</i>)	20
Alca común (<i>Alca torda</i>)	19
Gaviota cabecinegra (<i>Larus melanocephalus</i>)	19
Págalo pomarino (<i>Stercorarius pomarinus</i>)	19
Pagaza piconegra (<i>Gelochelidon nilotica</i>)	19
Zampullín cuellinegro (<i>Podiceps nigricollis</i>)	18
Arao común (<i>Uria aalge</i>)	17
Fraillecillo atlántico (<i>Fratercula arctica</i>)	17
Fulmar boreal (<i>Fulmarus glacialis</i>)	17
Mérgulo atlántico (<i>Alle alle</i>)	17
Gaviota tridáctila (<i>Rissa tridactyla</i>)	16
Pardela capirotada (<i>Puffinus gravis</i>)	16
Cormorán grande (<i>Phalacrocorax carbo</i>)	15
Charrán ártico (<i>Sterna paradisaea</i>)	15
Gaviota de Sabine (<i>Larus sabini</i>)	15
Negrón común (<i>Melanitta nigra</i>)	15
Paíño de Willson (<i>Oceanites oceanicus</i>)	14
Gaviota reidora (<i>Larus ridibundus</i>)	13

Tabla 1. Valores del índice de sensibilidad al petróleo (ISP) para las aves marinas de las costas atlánticas peninsulares españolas (Arcea, elaboración propia).

ESPECIE	ISP
Pardela balear (<i>Puffinus mauretanicus</i>)	30
Gaviota de Audouin (<i>Larus audouinii</i>)	27
Colimbo grande (<i>Gavia immer</i>)	26
Cormorán moñudo (<i>Phalacrocorax aristotelis</i>)	26
Pardela mediterránea (<i>Puffinus yelkouan</i>)	26
Gaviota picofina (<i>Larus genei</i>)	25
Pardela cenicienta (<i>Calonectris diomedea</i>)	25
Charrán patinegro (<i>Sterna sandvicensis</i>)	24
Charrancito común (<i>Sterna albifrons</i>)	24
Págalo grande (<i>Catharacta skua</i>)	24
Fumarel cariblanco (<i>Chlidonias hybridus</i>)	23
Gaviota enana (<i>Larus minutus</i>)	23
Colimbo chico (<i>Gavia stellata</i>)	22
Charrán común (<i>Sterna hirundo</i>)	22
Paíño europeo (<i>Hydrobates pelagicus</i>)	22
Alcatraz atlántico (<i>Morus bassanus</i>)	21
Fumarel común (<i>Chlidonias niger</i>)	21
Págalo parásito (<i>Stercorarius parasiticus</i>)	21
Colimbo ártico (<i>Gavia arctica</i>)	20
Gaviota cabecinegra (<i>Larus melanocephalus</i>)	20
Gaviota patiamarilla (<i>Larus michahellis</i>)	20
Paíño boreal (<i>Oceanodroma leucorhoa</i>)	20
Alca común (<i>Alca torda</i>)	19
Gavión atlántico (<i>Larus marinus</i>)	19
Gaviota sombría (<i>Larus fuscus</i>)	19
Págalo pomarino (<i>Stercorarius pomarinus</i>)	19
Pagaza piconegra (<i>Gelochelidon nilotica</i>)	19
Zampullín cuellinegro (<i>Podiceps nigricollis</i>)	18
Arao común (<i>Uria aalge</i>)	17
Frailecillo atlántico (<i>Fratercula arctica</i>)	17
Gaviota tridáctila (<i>Rissa tridactyla</i>)	16
Negrón común (<i>Melanitta nigra</i>)	16
Cormorán grande (<i>Phalacrocorax carbo</i>)	15
Fulmar boreal (<i>Fulmarus glacialis</i>)	14
Gaviota reidora (<i>Larus ridibundus</i>)	14

Tabla 2. Valores del índice de sensibilidad al petróleo (ISP) para las aves marinas de la costa mediterránea (Arcea, elaboración propia).

ESPECIE	ISP
Paño de Madeira (<i>Oceanodroma castro</i>)	29
Pardela chica (<i>Puffinus assimilis</i>)	29
Petrel de Bulwer (<i>Bulweria bulwerii</i>)	29
Paño pechalbo (<i>Pelagodroma marina</i>)	28
Pardela balear (<i>Puffinus mauretanicus</i>)	28
Pardela pichoneta (<i>Puffinus puffinus</i>)	25
Pardela cenicienta (<i>Calonectris diomedea</i>)	24
Pardela sombría (<i>Puffinus griseus</i>)	24
Charrán patinegro (<i>Sterna sandvicensis</i>)	23
Charrán común (<i>Sterna hirundo</i>)	22
Falaropo picogrueso (<i>Phalaropus fulicarius</i>)	22
Paño boreal (<i>Oceanodroma leucorhoa</i>)	22
Paño europeo (<i>Hydrobates pelagicus</i>)	22
Gaviota cabecinegra (<i>Larus melanocephalus</i>)	21
Págalo grande (<i>Catharacta skua</i>)	21
Págalo parásito (<i>Stercorarius parasiticus</i>)	21
Págalo pomarino (<i>Stercorarius pomarinus</i>)	21
Alcatraz atlántico (<i>Morus bassanus</i>)	20
Gaviota patiamarilla (<i>Larus michahellis</i>)	20
Fumarel común (<i>Chlidonias niger</i>)	19
Gavión atlántico (<i>Larus marinus</i>)	19
Gaviota sombría (<i>Larus fuscus</i>)	19
Pagaza piconegra (<i>Gelochelidon nilotica</i>)	19
Frilecillo atlántico (<i>Fratercula arctica</i>)	16
Gaviota tridáctila (<i>Rissa tridactyla</i>)	16
Pardela capirotada (<i>Puffinus gravis</i>)	16
Gaviota reidora (<i>Larus ridibundus</i>)	14
Paño de Willson (<i>Oceanites oceanicus</i>)	14
Zampullín cuellinegro (<i>Podiceps nigricollis</i>)	14
Gaviota de Sabine (<i>Larus sabini</i>)	13

Tabla 3. Valores del índice de sensibilidad al petróleo (ISP) para las aves marinas de las islas Canarias (Arcea, elaboración propia).

11. ¿Qué puedo hacer para proteger los puntos críticos?

Una vez identificados los puntos críticos, se debe estudiar cual es el mejor método para protegerlos. Se pueden adoptar dos grandes tipos de estrategias, en ningún caso excluyentes: a) proteger físicamente las áreas de que dependen las especies, para evitar que se vean afectadas por el petróleo y de forma indirecta ellas mismas, o b) actuar directamente sobre las aves, asustándolas para alejarlas de los lugares contaminados, capturarlas para trasladarlas a lugares no afectados o para mantenerlas en cautividad hasta que puedan ser liberadas sin riesgo de que se manchen (consultar Anexo II).

GUÍA 8

Fraillecillo
petroleado
en una caja
preparada para su
transporte.

12. **¿En qué medida van a ser efectivos los métodos elegidos de protección de los puntos críticos?**

Resulta de gran importancia pararse a pensar en los posibles problemas que puede acarrear la puesta en práctica de una u otra medida de protección, siendo consciente de su efectividad y alcance real, aunque tampoco se deben escatimar esfuerzos cuando se piense que determinadas acciones van a resultar de utilidad.

13. **¿Qué cantidad y tipo de material necesito para proteger los puntos críticos?**

Es necesario ponerse en contacto con personas que tengan conocimientos técnicos y experiencia probada en la puesta en práctica de los métodos de protección elegidos. Conocer exactamente qué se quiere proteger y cómo se quiere proteger, va a permitir realizar una estima de la cantidad de material necesario para conseguirlo.

14. **¿De qué material dispongo?**

Es necesario conocer de forma precisa la cantidad de material disponible, para saber si es o no suficiente para los objetivos que se han marcado y, en caso negativo, hacer las gestiones necesarias para conseguirlo. En el peor de los casos se deberá reconsiderar el alcance de los objetivos marcados.

15. **¿Qué recursos humanos necesito?**

Cada método de protección va a necesitar de la movilización de diferente cantidad de personal, en la mayoría de los casos cualificado; esta cantidad va a depender también de la escala y del alcance geográfico de los trabajos a realizar. El saber qué se quiere proteger y cómo se quiere hacer va a permitir realizar una estima del número de personas requeridas.

16. **¿De qué recursos humanos dispongo?**

Es necesario conocer de forma precisa la cantidad de personal disponible y, en el caso de no ser suficiente para alcanzar los objetivos marcados, hacer las gestiones necesarias para movilizar un mayor número. En el peor de los casos se deberá reconsiderar el alcance de los objetivos marcados.

▶▶ 4. **SEGUNDA PARTE**

En cualquier vertido de petróleo al medio marino es inevitable que se vean afectadas cantidades variables de aves de diferentes especies, a pesar de todos los esfuerzos de prevención que se puedan llegar a poner en práctica. De las mismas, tan sólo una parte



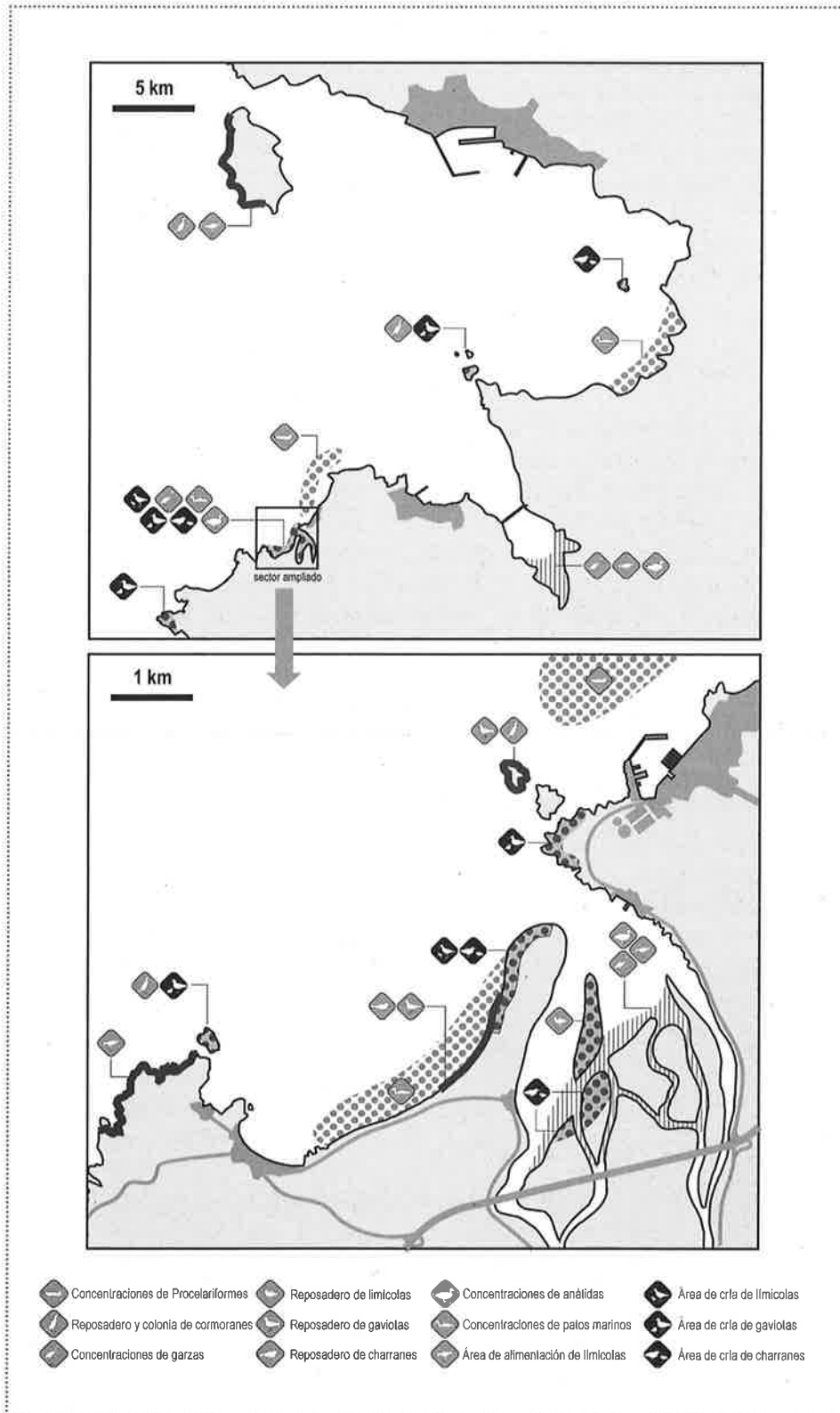


Figura 5. Ejemplo de un mapa de sensibilidad costera ante un vertido de petróleo (Arcea, elaboración propia).

GUÍA 8

alcanzará la línea costera, tanto vivas como muertas. En torno a ellas se suelen desarrollar numerosas actuaciones. A continuación se desarrollan una serie de apartados que abarcan diferentes aspectos relacionados con estos trabajos, en los que se recogen una serie de recomendaciones con las que se pretende conseguir la mejor ejecución de los mismos.

Versan sobre: 1) la estrategia de búsqueda en la costa, 2) la toma de datos en el campo, 3) las estrategias de captura de aves vivas, 4) las técnicas de captura y manipulación de aves vivas, 5) los primeros auxilios a un ave viva, 6) el traslado de los ejemplares vivos a los centros de rehabilitación y 7) la suelta de los ejemplares rehabilitados.

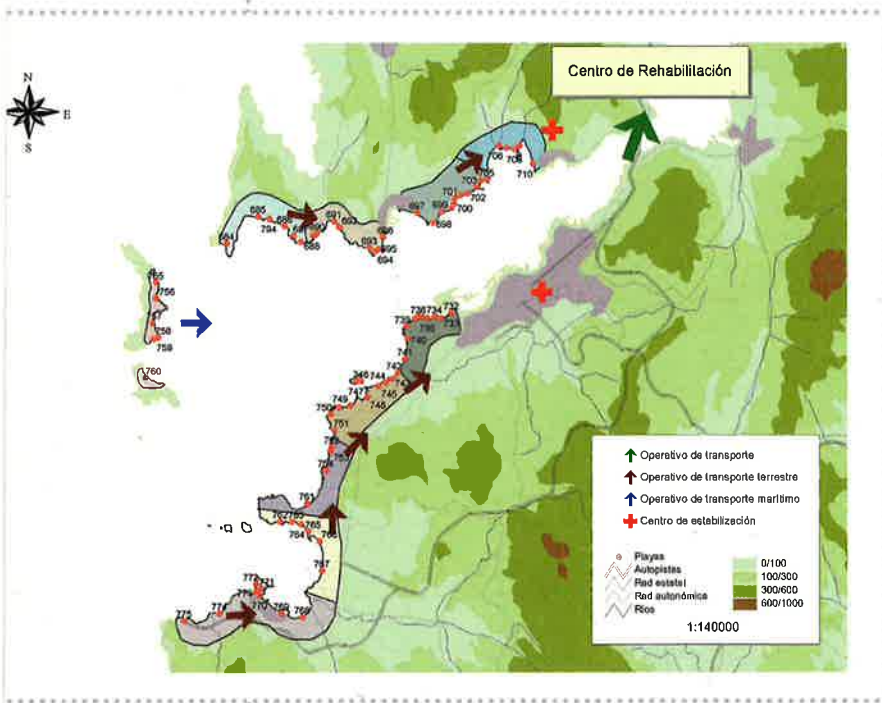
4.1 La estrategia de búsqueda

Toda búsqueda de ejemplares en la costa debe ser siempre organizada bajo la necesidad del control del esfuerzo invertido. Si este control no se puede garantizar para la totalidad del área afectada por el vertido, sí se debe hacer para una serie de tramos representativos de la misma. Es siempre preferible garantizar un buen control en algunos sectores, que intentar abarcarlos todos y, al final, no poder determinar el esfuerzo exacto de prospección. Conociendo el esfuerzo de prospección es posible realizar cálculos del número total de ejemplares orillados.

La unidad del muestreo lo constituye la playa, que va a ser utilizada como referencia

para identificar el origen geográfico de cada ejemplar recogido, vivo o muerto. Pueden existir también unidades de costa rocosa accesible equiparables a las playas, y otras que no puedan ser visitadas por su inaccesibilidad. Se recomienda la división del ámbito geográfico de actuación en pequeños tramos costeros (compartimentación del litoral), agrupaciones de un número limitado de playas próximas entre sí y cuya prospección se pueda asumir por un equipo de dos personas. Estos tramos deben ser delimitados teniendo en consideración su accesibilidad. El conjunto de los mismos constituirá la base para la organización de las búsquedas y la distribución eficiente de los recursos humanos. Deben ser establecidos de antemano y volcados en un Sistema de Información Geográfica, para su fácil manejo y gestión. Estos tramos se irán activando en función

Figura 6. Esquema hipotético de una posible estrategia de búsqueda en un tramo costero (Arcea, elaboración propia).



del alcance del vertido y se utilizarán como base para ir variando las estrategias de búsqueda.

Deben existir equipos específicos para la captura de aves vivas, diferenciados de los de recogida de ejemplares muertos.

Debe establecerse una estructura jerarquizada para la recogida de las aves desde los tramos de base, hacia puntos comunes a varios tramos próximos, desde donde se trasladen los ejemplares hacia los centros de estabilización y rehabilitación (ver Figura 6). Se recomienda la identificación previa de estos puntos, que deben servir para la organización del trabajo diario, el reparto del material necesario, dar recomendaciones, solventar cualquier duda o canalizar la aparición de voluntarios espontáneos. Su existencia se debe hacer pública.

4.2 La toma de datos en el campo

Debe existir un protocolo de toma de datos en la playa, común a ejemplares vivos y muertos. Los ejemplares vivos serán introducidos en cajas convenientemente ventiladas y los muertos en bolsas, en ambos casos de manera individualizada. Se deberá anotar externamente con un rotulador indeleble sobre la caja o bolsa: a) la fecha (día, mes, año), b) un código identificador de la playa (que le será transmitido al equipo de prospección en el punto de coordinación y que, previamente, habrá sido fijado en los trabajos de compartimentación del litoral), c) la hora de inicio de prospección de la playa y d) el número de ejemplar de la prospección en cuestión (Figura 7). Esta información será volcada igualmente en una ficha de campo individualizada para cada tramo, donde se intentará anotar la especie a la que corresponden. Esta ficha será entregada al término de cada jornada en el punto de coordinación más próximo (ver Figura 8).

El material básico necesario para el etiquetado y el traslado de ejemplares es el siguiente:

- Bolsas resistentes de diferente tamaño
- Contenedores resistentes con tapa, de diferente tamaño, con agujeros de 2,5 cm. de diámetro en las partes alta y baja de al menos dos de sus caras
- Rotuladores indelebles
- Etiquetas resistentes



Cormorán petroleado.



Figura 7. Ejemplo de etiqueta.

FICHA DE INSPECCIÓN COSTERA

Nombre prospector: AVES VIVAS/MUERTAS
(seleccionar lo que corresponda)

Tramo: 1

Playas (códigos): 762 Portocelo, 763 Das Ribas Brancas, 764 Area Fofa, 765 A Madorra, 766 Panxón, 767 América

Fecha	Hora inicio prospección	Playa (ver códigos)	Especie	Nº ejemplar	Petroleado sí/no	Notas
01/01/06	10:30	762	ninguna			
01/01/06	10:45	763	ninguna			
01/01/06	11:30	764	ninguna			
01/01/06	12:00	765	Arao	01	si	
01/01/06	12:00	765	Alca	02	si	
01/01/06	12:45	766	ninguna			
01/01/06	13:00	767	Arao	03	si	
01/01/06	13:00	767	Arao	04	si	anillado ZA08
01/01/06	13:00	767	Alca	05	si	
01/01/06	13:00	767	Alcatraz	06	no	
01/01/06	15:00	762	Arao	07	no	

Figura 8.
Propuesta de
modelo de ficha
de campo.

4.3 Estrategias de captura de aves vivas

El objetivo general de un plan de recogida de aves vivas es la búsqueda y captura del mayor número de ejemplares en las mejores condiciones y en el menor tiempo posibles, circunstancias que mejorarán las probabilidades de recuperación. Cuando los recursos humanos y/o económicos son limitados, se debe priorizar la captura de las especies más sensibles y siempre aquellos ejemplares menos manchados, y por lo tanto con mayores posibilidades de recuperación.

Es conveniente diseñar planes de reconocimiento y captura generales pero, también, específicos para áreas concretas de elevada complejidad. En este caso deben quedar especificados lugares y métodos concretos de búsqueda atendiendo a la ecología y comportamiento de las diferentes especies que se puedan ver afectadas. Deben existir equipos específicos para la captura de aves vivas, diferenciados de los de recogida de ejemplares muertos.

El mayor esfuerzo de captura se debe realizar a lo largo de la línea costera, aunque se pueden dar circunstancias en las que sea necesario realizarlas también en el agua. Esta opción es para Berg (2003) secundaria, quien considera que las aves petroleadas están estresadas, y que la persecución desde embarcaciones va a incrementar el consumo de energía de los ejemplares y su nivel de estrés, por lo que se debería dejar que alcanzasen la costa por propia iniciativa, aunque

IPIECA (2004) ve en este tipo de capturas una forma de evitar que el nivel de debilitamiento del ave afecte severamente a las posibilidades de recuperación. Si se decide abordar este tipo de capturas, el conocimiento de los hábitos de buceo de las especies puede mejorar el éxito de las mismas. Berg (2003) estima que si no se consigue la captura en 3-4 intentos, es necesario decidir si se continúa con la persecución, corriendo el riesgo de que el ejemplar se ahogue al quedarse sin energías, o esperar a que llegue a la costa.

4.4 Técnicas de captura y manipulación de aves vivas

La captura y manipulación de aves vivas requiere cierta práctica y experiencia previas, por lo que sólo debe ser llevada a cabo por personal entrenado y autorizado. Debe realizarse de manera que se minimice el estrés al ejemplar, asegurando que no se lesione ni que hiera al manipulador. Su grado de dificultad va a depender del tamaño de la especie, del grado de petroleado y de las energías que todavía le queden; el petróleo elimina normalmente la capacidad de volar de las aves, pero no su capacidad para escapar corriendo, aleteando, nadando o incluso buceando. Se debe tener especial cuidado con aquellas especies de mayor tamaño, con cuellos largos y picos puntiagudos o ganchudos, como colimbos, alcatraces o cormoranes.

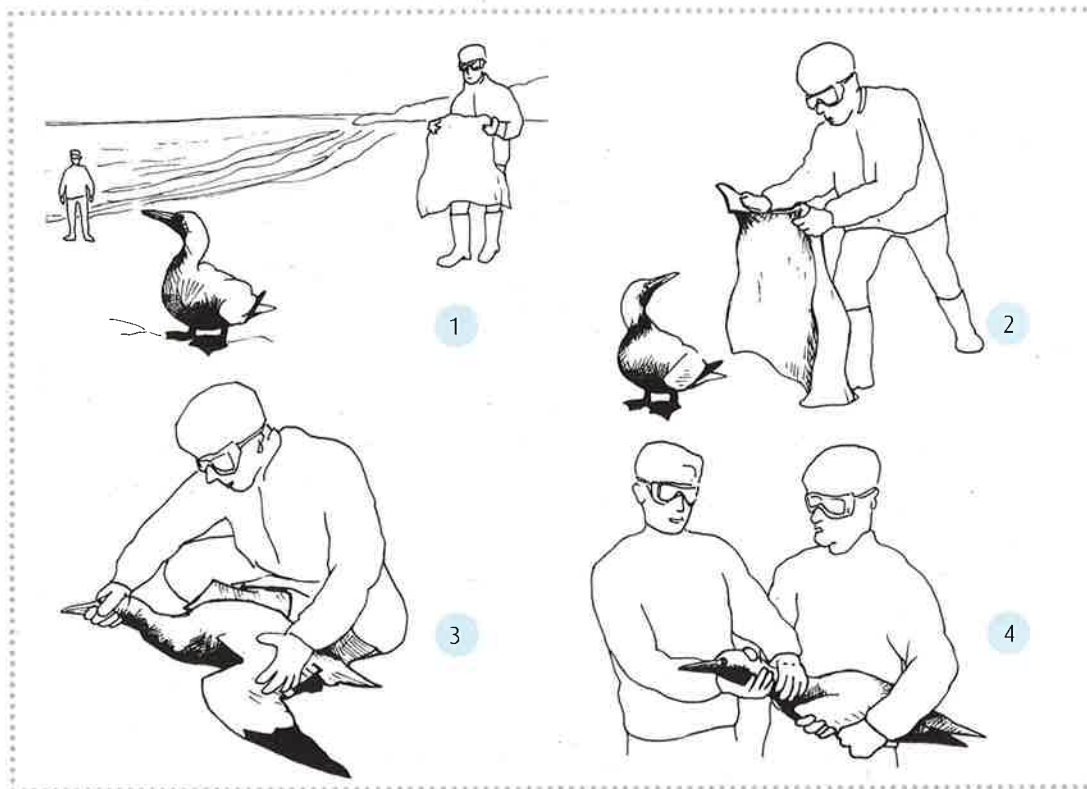


Figura 9. Pasos básicos para la captura y manipulación de un ave petroleada de gran tamaño.

GUÍA 8

Es necesario que cada equipo de captura esté compuesto al menos por dos personas que trabajen coordinadamente aunque, cuando exista un elevado número de ejemplares, va a ser necesaria la participación de varias personas y el diseño de estrategias de captura. Suele ser útil en estos casos, conducir a las aves hacia un punto en el que puedan ser fácilmente atrapadas.

Antes de iniciar cualquier captura se adoptarán las medidas de seguridad establecidas, que deben pasar imprescindiblemente por la utilización de guantes y gafas protectoras para prevenir accidentes que puedan afectar a los ojos y a la cara. White *et al.* (1998) señalan que las búsquedas realizadas a primera hora de la mañana y en marea baja suelen ser más exitosas, ya que las aves petroleadas suelen orillar por sí mismas durante las últimas horas del día, y existe una mayor superficie de maniobra para las capturas.

A modo de recomendaciones generales, las capturas deben realizarse con decisión y en silencio evitando, en la medida de lo posible, que el ejemplar corra grandes distancias y se estrese; para ello es necesario abordar a los ejemplares de espaldas o lateralmente, siendo útil la utilización de toallas, sábanas o similares, con las que puedan ser cubiertos. Uno de los miembros del equipo debe interponerse entre el ejemplar y el mar, mientras el otro efectúa la captura. En primer lugar se debe sujetar con suavidad y firmeza la cabeza del ejemplar, haciendo fuerza en la base del pico e, inmediatamente después, el cuerpo, manteniendo las alas plegadas y evitando que pueda hacer fuerza con las patas sobre una superficie firme, operación para la que ya se contará con la colaboración del segundo miembro del equipo. Se debe mantener siempre al ejemplar a la altura o por debajo de la cintura (Figura 9).

Las técnicas de manipulación más apropiadas van a depender de la especie y del tamaño del ejemplar. Especies de pequeño tamaño como paños o falaropos pueden ser manejados con una sola mano (Figura 10); en aquellas de mediano tamaño como patos o álcidos, se mantiene el cuerpo sujeto con las dos manos,

Figura 10. Ejemplo de manipulación de un paño.

Figura 11. Ejemplo de manipulación de un arao común.

1. Nunca se debe impedir por medio de métodos mecánicos que un ave marina abra el pico.

Figura 10



Figura 11



asegurándose de que el ejemplar pueda respirar correctamente (Figura 11); en aves de mayor tamaño como alcatraces o cormoranes, es necesaria la participación de dos personas, encargadas respectivamente del control de la cabeza y del cuerpo. Especies o ejemplares agresivos van a requerir medidas adicionales de control de la cabeza y patas, y sólo deben ser manejadas por personal de campo con experiencia en tales técnicas. En Fowler (1995) se puede consultar una descripción más extensa de las técnicas de manejo.

No es apropiado impedir que el ave pueda abrir el pico y la boca a través de métodos mecánicos, como gomas u otros materiales (ver foto).

Se procederá, a continuación, a introducirlo en una caja de cartón con agujeros, en la que se anotarán los datos que se especifican en el apartado de toma de datos en el campo. En ocasiones pueden ser útiles lazos, ganapanes, diferentes tipos de redes (pistola, cañón, japonesas), barreras, o incluso otro tipo de métodos, cuya necesidad deberá ser analizada en cada caso concreto. Muchas de estas técnicas necesitan de la participación de personas autorizadas y con experiencia en su uso. En la obra de H. Bub (1996) *Bird trapping and bird banding* se describen numerosas técnicas de captura que pueden ser de interés.

La manipulación de fauna salvaje en general, implica una serie de riesgos que conviene tener presentes. Estos pueden ser consultados en el Anexo III.

4.5 Primeros auxilios para las aves vivas

Los primeros auxilios a un ave viva deben ser administrados por veterinarios o personal especializado en los centros de estabilización, a los que los ejemplares capturados deberán ser trasladados con la mayor celeridad. Berg (2003) recomienda que se realicen tratamientos de estabilización en el campo, en el caso de que los ejemplares vayan a tardar más de 2-3 horas en ser ingresados en un centro. De acuerdo a esta autora, se deben seguir, por orden, los siguientes pasos:

1. Limpieza de boca, narinas y ojos. El petróleo, e incluso otros restos, pueden estar impidiendo la respiración del ejemplar.
2. Regular la temperatura. Las aves petroleadas pierden la capacidad de regular su temperatura corporal. Se tomará la temperatura del ejemplar, en función de la cual será calentado o refrescado. Una vez que ésta sea normal, será estrechamente vigilado para detectar visualmente posibles signos de enfriamiento o calentamiento (patas cálidas, respiración con la boca abierta,...).
3. Tratamiento para la deshidratación. Las aves petroleadas están en la mayo-

Manejo de una gaviota sombría.



GUÍA 8

ría de los casos deshidratadas, siendo necesario suministrarles fluidos (soluciones electrolíticas), regularmente desde el momento en el que se logre estabilizar la temperatura corporal. Si el ingreso del ejemplar en un centro se va a retrasar, se le puede suministrar algún protector estomacal que reduzca los efectos de la ingestión de petróleo.

- 4. Minimizar el estrés. Ubicar a las aves en un lugar seguro, tranquilo y cálido, libre de molestias humanas y de todo tipo de ruidos.
- 5. Registro de los tratamientos suministrados en el campo. Serán comunicados en el momento del ingreso de los ejemplares en un centro de rehabilitación.

El material básico necesario para la estabilización de las aves en las playas es el siguiente:

- Trapos/gasas.
- Sondas.
- Solución salina.
- Protector estomacal.
- Protector ocular.

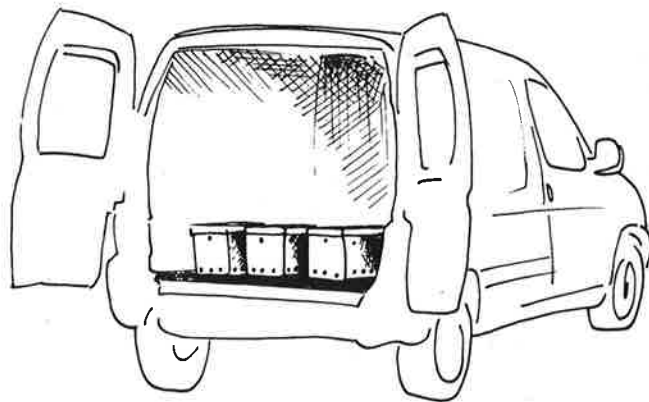
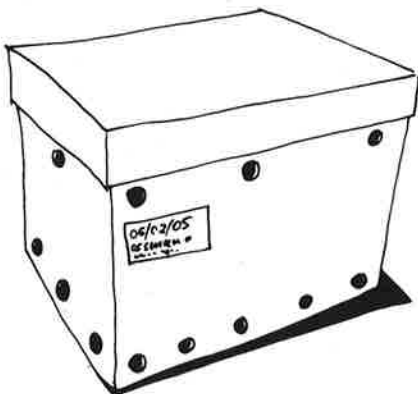
4.6 El traslado de ejemplares a los centros de rehabilitación

Se le debe prestar atención especial al transporte de los ejemplares capturados, ya que es estresante para los animales; en él se pueden producir graves pérdidas si no se atiende a una serie de principios básicos. El más importante se refiere a la minimización del tiempo transcurrido entre la captura y el ingreso del ejemplar en un centro de acogida, para lo que es preciso habilitar un transporte regular desde las playas.

Se recomienda que los responsables del transporte patrullen aquellos tramos costeros que tengan asignados, entrando en contacto periódico con los equipos de búsqueda para recoger los ejemplares capturados hasta el momento. En estas patrullas

Figura 12. Ejemplo de un contenedor de transporte de aves marinas petroladas.

Figura 13. Ejemplo de disposición de contenedores en un vehículo de transporte.



se podría incorporar personal cualificado para el suministro de primeros auxilios a las aves. Se debe evitar la introducción de vehículos todo-terreno en áreas de especial valor y sensibilidad ambiental, como áreas de vegetación dunar.

El transporte será siempre cuidadoso. Los vehículos que se utilicen deben ser cubiertos y de tamaño medio, tener la posibilidad de regular la temperatura y contar con un buen sistema de ventilación ya que, dependiendo del grado de frescura y tipo de petróleo, se pueden desprender vapores que afecten a sus ocupantes y a las aves. Cada ejemplar será introducido en un contenedor resistente (cajas de cartón, de madera...), que pueda ser correctamente cerrado, para evitar su huida, oscuro y con agujeros que garanticen una buena ventilación (para respirar y eliminar el riesgo de que vapores de petróleo tóxicos agraven su salud). El contenedor debe ser el doble del tamaño del ave que va a albergar, estar bien acolchado en su base con papel o toallas que puedan ir absorbiendo el petróleo y contar con agujeros de 2,5 cm. de diámetro en las partes superior e inferior en, al menos, dos de sus caras, que, en caso de no existir, deben realizarse antes de introducir en ellas al ejemplar (Figura 12).

Se debe asegurar su buena disposición en el vehículo, para evitar el deslizamiento y los golpes, y garantizar que los agujeros de ventilación no se queden tapados; Berg (2003) recomienda mantener una separación mínima de 2,5-4 cm entre ellos. No se deben amontonar los contenedores ni trasladar demasiados animales por viaje (Figura 13).

En caso de ser necesario introducir varios ejemplares juntos, se debe tener en consideración que hay especies que no son compatibles entre sí, por lo que se pueden producir agresiones que les provoquen nuevas lesiones o incluso la muerte. Berg (2003) considera especies compatibles a araos (*Uria aalge*), patos, excepto negrón común (*Melanitta nigra*), serretas, gansos, charranes y correlimos. Ejemplares de otras especies o grupos de especies deben ir por separado, especialmente colimbo y zampullines.

A modo de generalidades: a) no se deben mezclar individuos de diferentes especies ni ejemplares de tamaños muy diferentes, b) deben contar con una condición física similar e igual grado de superficie corporal afectada por el petróleo, c) los contenedores deben ser revisados 5-10 minutos después de introducir a las aves, para asegurar la compatibilidad de los ejemplares que van a viajar juntos.

El control de la temperatura y la supervisión de los ejemplares son críticos durante el transporte. La temperatura en el interior de los vehículos debe estar en torno a los 20-21 °C, aunque los ejemplares mojados necesitan valores comprendidos entre 26-27 °C para estar confortables (Berg, 2003). Se debe evitar que la luz del sol incida directamente sobre los contenedores. Las

Manipulación de un ave petroleada: se mantiene el cuerpo sujeto con las dos manos, asegurándose de que el ejemplar puede respirar correctamente.



aves deben ser controladas periódicamente en transportes que duren más de una hora, y también hidratadas si exceden de las cuatro horas, aunque se debe tener presente que un chequeo excesivo puede incrementar el nivel de estrés.

Se debe diseñar un plan de transporte eficiente, que tenga en consideración los tramos en los que se están realizando búsquedas y la ubicación de los centros de estabilización y rehabilitación. El transporte de ejemplares muertos debe ser igualmente eficiente, realizándose diariamente aprovechando los transportes de ejemplares vivos

4.7 La suelta de ejemplares rehabilitados

Debe ser el equipo veterinario quien seleccione qué ejemplares pueden ser liberados. Las sueltas deben realizarse a la mayor brevedad posible, ya que, cuanto más tiempo permanezca un ejemplar fuera de su hábitat, mayores son las probabilidades de que surjan problemas veterinarios, no directamente relacionados con el petróleo, que pongan en peligro la rehabilitación. Todos los ejemplares liberados deben estar anillados. Los mapas de sensibilidad que se hayan podido desarrollar deben servir como herramienta para la selección de las áreas de suelta. Es conveniente elaborar para cada especie o grupo de especies un listado de lugares potenciales aptos para la liberación, o al menos para las especies más sensibles en el ámbito geográfico de actuación. Los criterios que se deben emplear para la selección final de los lugares y circunstancias de la suelta, según Berg (2003), son los siguientes:

- Ausencia de petróleo.
- Minimización del riesgo de que las aves se vuelvan a manchar.
- Misma área geográfica del lugar de la captura, si fuera posible (se debe prestar especial atención a la existencia de factores limitantes relacionados con el comportamiento social de las especies, como en el caso del cormorán moñudo).
- La suelta se produce en el periodo adecuado, de acuerdo a la fenología local de cada especie (especialmente dirigido a las especies migratorias).
- Disponibilidad de alimento accesible no contaminado.
- Mínimas molestias humanas (embarcaciones, ruidos...) en el área.
- Área protegida frente a condiciones climatológicas adversas.
- Condiciones climatológicas y pronósticos del tiempo favorables.
- Momento apropiado del día según las especies. Como recomendación general las sueltas se deben realizar a primera hora de la mañana, después de que los animales hayan sido alimentados; es recomendable permanecer atentos al comportamiento de las aves tras la liberación, a lo largo de todo el día si fuera posible, para poder recoger de nuevo los ejemplares que puedan tener problemas.
- Mínimas necesidades logísticas de transporte. Lugares de suelta lo más próximos posible al centro de rehabilitación.

Es conveniente poner en práctica un programa de seguimiento de los ejemplares

liberados, para conocer cuántos de ellos se reincorporan finalmente a la población estableciendo, así, la efectividad real de los trabajos de rehabilitación. De la monitorización se puede obtener también información útil que revierta en una mejora de los criterios y procesos de recuperación.

ANEXO I

Breve introducción a la comunidad española de aves marinas

Para cada grupo de especies se recoge información básica acerca del número de taxones que lo componen, estatus, distribución y abundancia, fenología, hábitat, hábitos, y algunas recomendaciones y apuntes relacionados con su captura y manejo.



a) Colimbos

Especies: colimbo grande (*Gavia immer*), c. ártico (*Gavia arctica*) y c. chico (*Gavia stellata*).

Estatus: invernantes.

Distribución y abundancia: tercio norte peninsular; muy escasos en el litoral catalán, faltan en Canarias (ver Tabla 4).

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: ocupan aguas costeras poco profundas, especialmente bahías y rías.

Hábitos: nadadores y de hábitos buceadores, permanecen siempre en el agua, tendiendo a formar agrupaciones al atardecer.

Manejo: son aves de complexión fuerte, con picos afilados y cortantes. Se necesitan dos personas para manejar un colimbo, siendo imprescindible controlar su cabeza. Muy susceptibles de estresarse en cautividad. Al tener las patas muy retrasadas en el cuerpo, en tierra se apoyan sobre el pecho, por lo que son dados a dañarse en la quilla; es necesario que los contenedores de transporte estén bien almohadillados. Pueden pelearse entre ellos y herirse en situaciones de poco espacio. Los manipuladores deben estar atentos para esquivar proyectiles de heces.



b) Zampullines

Especies: una única especie reseñable, el zampullín cuelliñegro (*Podiceps nigricollis*).

Estatus: especie residente en los sectores mediterráneo y atlántico andaluz, donde se

reproduce, e invernante en las costas cantábrica y gallega.

Distribución y abundancia: principalmente a lo largo de las costas mediterráneas y en el litoral atlántico andaluz, siendo escaso en las costas cantábricas y gallegas (ver Tabla 4).

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: de hábitos costeros, pero también vinculado en gran medida a humedales, en los que se instala para criar.

Hábitos: buceador y bastante gregario, permanece siempre en el agua.

Manejo: de mediano tamaño. Al tener las patas muy retrasadas en relación al cuerpo, en tierra se apoyan sobre el pecho, por lo que son dados a dañarse en la quilla; es necesario que los contenedores de transporte estén bien almohadillados. Pueden pelearse entre ellos y herirse en situaciones de poco espacio. Los manipuladores deben estar atentos para esquivar proyectiles de heces.



c) Pardelas

Especies: pardela capirotada (*Puffinus gravis*), p. sombría (*Puffinus griseus*), p. cenicienta (*Calonectris diomedea*), p. pichoneta (*Puffinus puffinus*), p. balear (*Puffinus mauretanicus*), p. mediterránea (*Puffinus yelkouan*) y p. chica (*Puffinus assimilis*).

Estatus: pardela pichoneta y chica se reproducen en Canarias, donde son estivales; la balear y la mediterránea en las islas Baleares, donde la primera es residente; la cenicienta en Canarias y en el sector mediterráneo, donde se comporta como estival. Pardela capirotada y sombría están presentes en el tercio norte durante la migración otoñal hacia sus cuarteles de reproducción en el hemisferio sur.

Distribución y abundancia: son especies en general frecuentes en España, aunque su abundancia se ve condicionada por la época del año y la región en la que nos encontremos. Las pardelas capirotada y sombría sólo son frecuentes en las costas del tercio norte peninsular (ver Tabla 4).

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: superficies marinas no costeras.

Hábitos: son de hábitos pelágicos y grandes planeadoras. Sólo tocan tierra para la cría, formando por lo general pequeñas colonias en lugares poco accesibles, como islotes, roques o acantilados, donde se instalan en huras, cuevas o grietas. La pardela balear, que muestra un comportamiento buceador, es la especie más costera de todas ellas, tendiendo a formar balsas durante todo el año, tanto en la proximidad de sus colonias de reproducción, como en las zonas de migración e invernada. Durante la reproducción estas especies pueden realizar importantes desplazamientos para obtener alimento, ausentándose varios días de las colonias.

Manejo: tienen picos ganchudos y puntiagudos, con los que pueden infringir fuertes picotazos. Cuando están alarmadas pueden expulsar por la boca aceite estomacal de olor desagradable. Tienen patas fuertes y uñas afiladas, con las que pueden causar heridas. En tierra se apoyan sobre los tarsos; es recomendable el almohadillado de los contenedores en los que sean transportadas.



d) Fulmares

Especies: una única especie, el fulmar boreal (*Fulmarus glacialis*).

Estatus: invernante.

Distribución y abundancia: presente en las costas cantábrica y gallega (ver Tabla 4).

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: superficies marinas no costeras.

Hábitos: de hábitos pelágicos, alimentándose en la superficie del mar.

Manejo: tiene un pico robusto, con el que puede infringir fuertes picotazos. Cuando están alarmados pueden expulsar por la boca aceite estomacal de olor desagradable. En tierra se apoyan sobre los tarsos, por lo que es recomendable el almohadillado de los contenedores en los que sean transportados.



e) Paíños y petreles

Especies: paíño europeo (*Hydrobates pelagicus*), p. de madeira (*Oceanodroma castro*), p. pechialbo (*Pelagodroma marina*), p. boreal (*Oceanodroma leucorhoa*) y petrel de Bulwer (*Bulweria bulwerii*).

Estatus: las cuatro primeras se reproducen en Canarias, donde se comportan principalmente como estivales, aunque tan sólo el paíño europeo lo hace fuera de estas islas, tanto en las costas cantábricas y gallegas como en el Levante y Baleares, donde se comporta como una especie residente. El paíño boreal está presente en otoño e invierno.

Distribución y abundancia: presentes en las tres áreas geográficas consideradas, aunque son las aguas canarias las que cuentan con un mayor número de especies. En el mediterráneo sólo está el paíño europeo, al que se le une en las aguas atlánticas, el boreal (ver Tabla 4).

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: superficies marinas no costeras.

Hábitos: son especies voladoras y de hábitos pelágicos, acercándose a tierra sólo para criar. Forma colonias en roques marinos, al pie de acantilados costeros, a excepción del paíño pechialbo, que lo hace en zonas de dunas; ubican los nidos bajo bloques de piedra o plantas, grietas, pequeñas galerías y en huras.

Manejo: de pequeño tamaño, necesitan ser manipulados con delicadeza.



f) Alcatraz

Especies: una única especie, el alcatraz atlántico (*Morus bassanus*).

Estatus: invernante y migradora.

Distribución y abundancia: de amplia distribución tanto en la costa atlántica como en la mediterránea, aunque en Canarias sólo está en Lanzarote, Fuerteventura y Gran Canaria; no existe información precisa de su abundancia aunque se estima que varios miles circulan frente a las costas españolas.

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: superficies marinas no costeras.

Hábitos: especie pelágica de hábitos voladores, se zambulle desde el aire para alimentarse y sólo se posa en tierra durante la época de reproducción.

Manejo: de gran tamaño, tiene un pico grande, ancho y terminado en punta, con el que puede infringir fuertes picotazos. Son necesarias dos personas para manejar un ejemplar, siendo imprescindible controlarle la cabeza.



g) Cormoranes

Especies: cormorán moñudo (*Phalacrocorax aristotelis*) y cormorán grande (*Phalacrocorax carbo*).

Estatus: el cormorán moñudo es reproductor y sedentario, mientras que el grande se comporta principalmente como invernante.

Distribución y abundancia: están descritas dos subespecies de cormorán moñudo, la nominal *aristotelis*, restringida al litoral cantábrico y gallego, y *desmaresti*, de distribución mediterránea. Ninguna de las dos especies está presente en Canarias (ver Tabla 4).

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: el cormorán moñudo es estrictamente costero, distribuyéndose el grande también por los humedales del interior peninsular.

Hábitos: de hábitos nadadores y buceadores, permanecen durante mucho tiempo en contacto con el agua, pero cuentan con reposaderos diurnos y dormideros en tierra. El cormorán moñudo nidifica en acantilados costeros inaccesibles, la mayoría en islas e islotes de pequeño tamaño próximos a la costa, en los que forman colonias de tamaño variable. Son gregarios, llegando a formar grandes agrupaciones de alimentación.

Manejo: de mediano-gran tamaño, cuello largo y picos ganchudos. Se debe permitir que los ejemplares puedan respirar a través de la boca, ya que no tienen orificios nasales externos en el pico. Siempre se debe mantener el control de la cabeza, ya que pueden atacar e infringir severos picotazos.



h) Patos marinos

Especies: una única especie frecuente, el negrón común (*Melanitta nigra*).

Estatus: migrante otoñal e invernante.

Distribución y abundancia: distribuido a lo largo de las costas atlántica y mediterránea, siendo muy raro en Canarias (ver Tabla 4).

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: ocupa principalmente áreas costeras de aguas poco profundas como playas y bahías.

Hábitos: de hábitos nadadores y buceadores, en nuestras latitudes permanece en contacto directo con el agua.

Manejo: de mediano tamaño, son susceptibles a sufrir lesiones externas en las patas y en las articulaciones, por lo que necesitan de almohadillado en el suelo de los contenedores de transporte. Con frecuencia se quedan como desmayados cuando son manipulados, lo cual no significa necesariamente que se encuentren en una situación crítica; pueden ser también muy agresivos, siseando y atacando, aunque los picotazos no son peligrosos para los manipuladores. Los machos de esta especie pueden mostrar un comportamiento agresivo frente a las hembras y subadultos, aspecto que debe ser tenido en consideración a la hora del transporte.



i) Falaropos

Especies: una única especie de presencia habitual, el falaropo picogrueso (*Phalaropus fulicarius*).

Estatus: migrante otoñal e invernante.

Distribución y abundancia: principalmente frente a las costas cantábricas y gallegas. No existe información precisa de su abundancia.

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: superficies marinas no costeras.

Hábitos: de hábitos pelágicos.

Manejo: Es una especie pequeña y delicada. Precisa de una manipulación cuidadosa y es muy susceptible a sufrir hipotermia.



j) Págalos

Especies: págalo grande (*Chataracta skua*), p. parásito (*Stercorarius parasiticus*), p. pomarino (*Stercorarius pomarinus*) y p. rabero (*Stercorarius longicaudus*).

Estatus: migrantes otoñales.

Distribución y abundancia: más abundantes frente al litoral cantábrico y gallego, faltando el págalo rabero en Canarias. No existe información precisa de su abundancia.

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: superficies marinas no costeras.

Hábitos: de hábitos voladores y pelágicos, persiguen a otras aves marinas para robarles el alimento.

Manejo: tienen picos fuertes, en especial el págalo grande, con los que pueden propinar fuertes picotazos; es necesario controlarles la cabeza.



k) Gaviotas

Especies: gaviotas cabecinegra (*Larus melanocephalus*), g. enana (*Larus minutus*), g. reidora (*Larus ridibundus*), g. picofina (*Larus genei*), g. de Audouin (*Larus audouinii*), g. cana (*Larus canus*), g. tridáctila (*Rissa tridactyla*), g. de Sabine (*Larus sabini*), g. patiamarilla (*Larus midraellis*), g. sombría (*Larus fuscus*) y gavión atlántico (*Larus marinus*).

Estatus: todas ellas se reproducen en España, salvo las gaviotas enana, cana y de Sabine; esta última está presente durante la migración otoñal en las costas cantábrica y gallega; la gaviota tridáctila es principalmente una especie invernante, junto con la cana, la enana, la cabecinegra, la reidora y el gavión. La gaviota picofina y la de Audouin son residentes, aunque esta última se comporta también como migradora parcial, desplazándose hacia las costas atlánticas norteafricanas. La patiamarilla y la sombría son también residentes aunque, de esta última, ingresan varios miles de ejemplares en invierno procedentes de países europeos.

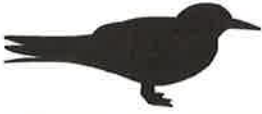
Distribución y abundancia: gaviota cabecinegra, reidora, de Audouin y picofina se reproducen tan sólo en la región mediterránea, aunque esta última también en el litoral atlántico andaluz, mientras que el gavión sólo en Galicia. En Canarias tan sólo están presentes las gaviotas reidora y sombría, mientras que la picofina y la de Audouin están restringidas casi exclusivamente al ámbito mediterráneo (ver Tabla 4).

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: superficies marinas no costeras y en todo tipo de medios en la línea litoral.

Hábitos: son todas especies voladoras, que se alimentan en la superficie del agua. Las gaviotas tridáctila y de Sabine son de hábitos pelágicos, mientras que las restantes especies están presentes principalmente en la línea costera, donde se localizan sus reposaderos y dormideros. Buscan alimento tanto en la costa como en mar abierto, donde se asocian con frecuencia a flotas pesqueras que generan descartes. Son especies muy gregarias, pudiendo llegar a constituir grandes bandos. Forman densas colonias de reproducción en islas e islotes rocosos poco frecuentados, aunque la picofina lo hace en marismas salobres de aguas someras y salinas.

Manejo: sobre todo las especies de mayor tamaño, como el gavión y las gaviotas de Audouin, patiamarilla y sombría, tienen picos cortantes; suelen ser bastante agresivas, por lo que pueden causar heridas a los manipuladores. Es necesario controlar su cabeza.



l) Charranes y fumareles

Especies: los más frecuentes son la pagaza piconegra (*Gelochelidon nilotica*), los charranes patinegro (*Sterna sandvicensis*), c. común (*Sterna hirundo*) y c. ártico (*Sterna paradisaea*), el charrancito (*Sterna albifrons*), y los fumareles común (*Chlidonias niger*) y f. cariblanco (*Chlidonias hybridus*).

Estatus: todos se reproducen en España, a excepción del charrán ártico, que es migrador. El charrán patinegro es residente en el mediterráneo y migrador e invernante en las costas atlánticas peninsulares y Canarias. El charrán común es estival en el mediterráneo, migrador en las costas atlánticas y residente pero muy escaso en Canarias. La pagaza, el charrancito y los fumareles son migradores y estivales en el mediterráneo, y migradores en las costas atlánticas, aunque la pagaza es, en general, un migrante escaso.

Distribución y abundancia: todos ellos presentes en las costas atlántica y mediterráneas, a excepción de Canarias, donde sólo son frecuentes los charranes común y patinegro. El charrán ártico sólo aparece citado frente a las costas cantábrica y gallega (ver Tabla 4).

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: superficies marinas no costeras en migración, y en todo tipo de medios en la línea litoral.

Hábitos: son especies voladoras y malas nadadoras, que se alimentan sobre la superficie del agua en la franja costera; la vinculación de los fumareles con el medio marino se restringe principalmente a la época de los movimientos hacia sus cuarteles de invernada africanos. Son especies gregarias, descansando en tierra, donde pueden llegar a constituir grandes bandos mixtos con otras especies como las gaviotas. Las colonias de reproducción se localizan en humedales costeros, en isletas de lagunas litorales y salinas, arenales costeros o sobre vegetación flotante los fumareles.

Manejo: de pequeño-mediano tamaño, tienen picos puntiagudos y precisan de una manipulación cuidadosa.



m) Álcidos

Especies: arao común (*Uria aalge*), alca común (*Alca torda*), frailecillo atlántico (*Fregata arctica*) y mérgulo atlántico (*Alle alle*).

Estatus: invernantes. Sólo se reproduce el arao, del que existe una única colonia en Galicia, con escasísimas parejas; en la práctica puede ser considerado extinguido como

especie reproductora.

Distribución y abundancia: en el este del mediterráneo están presentes el frailecillo y el alca, mientras que en Canarias solamente el frailecillo. No existe información precisa de su abundancia, aunque se estima pueden ser muy numerosos, en especial en las costas cantábricas y gallegas, a excepción del mérgulo, mucho más escaso.

Fenología: consultar figuras 2, 3 y 4.

Hábitat: superficies marinas no costeras, a excepción del alca, presente también en una amplia variedad de medios en la línea litoral, como grandes bahías, ensenadas y rías.

Hábitos: todas son especies nadadoras que obtienen su alimento buceando, permaneciendo siempre en contacto con el agua fuera de la época de reproducción. La más costera de todas ellas es el alca, siendo las más pelágicas el frailecillo y el mérgulo. Pueden llegar a formar grandes agrupaciones.

Manejo: las patas ocupan una posición corporal bastante retrasada, aunque pueden mantenerse en pie, en una postura erguida; tienen tendencia a permanecer echados, apoyados sobre los tarsos, por lo que los contenedores de transporte deberían ser mullidos. Son dados a contraer infecciones en las patas y en las articulaciones. Pueden ser agresivos, por lo que se debe tener cuidado con los picos cortantes.

ANEXO II

Técnicas para evitar que las aves se manchen

En diferentes partes del mundo se han utilizado diversas técnicas para evitar que las aves se manchen, entre las que se encuentran las de disuasión visuales, auditivas o sensoriales de diverso tipo, así como capturas preventivas de ejemplares. Las técnicas de disuasión sólo son prácticas si en la inmediata proximidad existen hábitat alternativos en buenas condiciones para las especies que se pretende asustar, y funcionan mejor en áreas bien definidas y de pequeña extensión, como bahías, ensenadas o muelles, y en accidentes de pequeña escala; Berg (2003) señala que la mayoría de las acciones para alejar a las aves probablemente no sean efectivas en áreas de más de 7-10 millas. Lehoux & Bordage (2000) desarrollan y discuten pormenorizadamente este tipo de técnicas, aunque en Berg (2003) se puede consultar una síntesis de las mismas. Sin embargo son muy escasos los documentos técnicos que analicen y valoren de forma realista la efectividad de estas medidas. La premisa que guía las capturas preventivas es la de retirar a los ejemplares antes de que se manchen. Son programas complejos y costosos, que requieren una muy buena justificación y planificación. Antes de poner en práctica esta medida se deben plantear y valorar una serie

Tabla 4. Abundancia de las especies de aves marinas más frecuentes en España durante la reproducción e invernada (en base a Madroño *et al.*, 2004 y Martí & del Moral, 2003). Clave para la invernada: 1= <100; 2= 101-1.000; 3= 1.001-10.000; 4= 10.001-100.000; 5= >100.000; n.c.= no cuantificado A.= Atlántico peninsular; M.= costas mediterráneas; C.= Canarias. Se destacan en negrita las especies reproductoras.

RECOMENDACIONES PARA LA RECOGIDA Y TRANSPORTE DE AVES PETROLEADAS

ESPECIE	AVES REPRODUCTORAS			AVES INVERNANTES		
	A.	M.	C.	A.	M.	C.
Colimbo chico (<i>Gavia stellata</i>)	-	-	-	1	1	-
Colimbo ártico (<i>Gavia arctica</i>)	-	-	-	1	1	-
Colimbo grande (<i>Gavia immer</i>)	-	-	-	2	1	-
Zampullín cuellinegro (<i>Podiceps nigricollis</i>)	1.000-2.000	300-550	-	2-3	2-3	-
Fulmar boreal (<i>Fulmarus glacialis</i>)	-	-	-	n.c.	n.c.	-
Petrel de Bulwer (<i>Bulweria bulwerii</i>)	-	-	1.000	-	-	n.c.
Pardela cenicienta (<i>Calonectris diomedea</i>)	-	10.000	30.000	n.c.	-	n.c.
Pardela capirotada (<i>Puffinus gravis</i>)	-	-	-	n.c.	-	n.c.
Pardela sombría (<i>Puffinus griseus</i>)	-	-	-	n.c.	-	n.c.
Pardela pichoneta (<i>Puffinus puffinus</i>)	-	-	200	n.c.	-	-
Pardela balear (<i>Puffinus mauretanicus</i>)	-	1.750-2.125	-	n.c.	n.c.	n.c.
Pardela chica (<i>Puffinus assimilis</i>)	-	-	400	n.c.	-	n.c.
Pardela mediterránea (<i>Puffinus yelkouan</i>)	-	100-150	-	n.c.	n.c.	-
Paífo de Willson (<i>Oceanites oceanicus</i>)	-	-	-	n.c.	-	n.c.
Paífo pechialbo (<i>Pelagodroma marina</i>)	-	-	50-60	n.c.	-	-
Paífo europeo (<i>Hydrobates pelagicus</i>)	1.175-2.590	3.830-5.310	1.000	n.c.	n.c.	n.c.
Paífo boreal (<i>Oceanodroma leucorhoa</i>)	-	-	-	n.c.	n.c.	n.c.
Paífo de madeira (<i>Oceanodroma castro</i>)	-	-	550-600	n.c.	-	n.c.
Alcatraz atlántico (<i>Morus bassanus</i>)	-	-	-	n.c.	n.c.	n.c.
Cormorán grande (<i>Phalacrocorax carbo</i>)	-	-	-	3-4	3-4	-
Cormorán moñudo (<i>Phalacrocorax aristotelis</i>)	3.000	1.390	-	3	3	-
Negrón común (<i>Melanitta nigra</i>)	-	-	-	2-3	1	-
Falaropo picogrueso (<i>Phalaropus fulicarius</i>)	-	-	-	n.c.	-	n.c.
Págalo pomarino (<i>Stercorarius pomarinus</i>)	-	-	-	n.c.	n.c.	n.c.
Págalo parásito (<i>Stercorarius parasiticus</i>)	-	-	-	n.c.	n.c.	n.c.
Págalo grande (<i>Catharacta skua</i>)	-	-	-	n.c.	n.c.	n.c.
Gaviota cabecinegra (<i>Larus melanocephalus</i>)	-	2-3	-	2-3	3	n.c.
Gaviota enana (<i>Larus minutus</i>)	-	-	-	n.c.	n.c.	-
Gaviota de Sabine (<i>Larus sabini</i>)	-	-	-	n.c.	n.c.	n.c.
Gaviota reidora (<i>Larus ridibundus</i>)	250-300	4.000	-	4	5	2
Gaviota picofina (<i>Larus genei</i>)	130-285	600	-	2	2	-
Gaviota de Audouin (<i>Larus audouinii</i>)	-	16.957	-	1	2	-
Gaviota sombría (<i>Larus fuscus</i>)	317	89	-	5	4	n.c.
Gaviota patiamarilla (<i>Larus michahellis</i>)	66.000	33.566	4.037-4.656	5	4	3
Gavión atlántico (<i>Larus marinus</i>)	1	-	-	2	1	1
Gaviota tridáctila (<i>Rissa tridactyla</i>)	18-20	-	-	n.c.	n.c.	n.c.
Pagaza piconegra (<i>Gelochelidon nilotica</i>)	400-2.300	200-300	-	1	1	1
Charrán patinegro (<i>Sterna sandvicensis</i>)	-	3.000	-	3	3	2-3
Charrán común (<i>Sterna hirundo</i>)	1-8	5.800-11.000	38-51	n.c.	n.c.	n.c.
Charrán ártico (<i>Sterna paradisaea</i>)	-	-	-	n.c.	n.c.	-
Charrancito común (<i>Sterna albifrons</i>)	3.250-4.000	1.000-1.250	-	n.c.	n.c.	-
Fumarel cariblanco (<i>Chlidonias hybridus</i>)	5.300-6.300	2.852	-	n.c.	n.c.	-
Fumarel común (<i>Chlidonias niger</i>)	15-30	-	-	n.c.	n.c.	n.c.
Fumarel aliblanco (<i>Chlidonias leucopterus</i>)	-	-	-	-	n.c.	-
Arao común (<i>Uria aalge</i>)	1	-	-	n.c.	n.c.	-
Alca común (<i>Alca torda</i>)	-	-	-	n.c.	n.c.	-
Mérgulo atlántico (<i>Alle alle</i>)	-	-	-	n.c.	n.c.	-
Frailecillo atlántico (<i>Fratercula arctica</i>)	-	-	-	n.c.	n.c.	n.c.

de cuestiones de gran importancia, al menos relacionadas con: a) la trascendencia de la acción en la conservación de la especie implicada, b) la facilidad y viabilidad de la captura, c) el riesgo de que se produzcan bajas por estrés o accidentes, d) la posible existencia e importancia de limitantes relacionados con el comportamiento, e) la experiencia existente en el mantenimiento en cautividad y d) el tiempo de permanencia estimado de los ejemplares fuera de sus hábitat naturales.

Las capturas preventivas han demostrado su valía en el caso de los pingüinos, en general muy gregarios y fáciles de capturar en comparación con todas las restantes especies de aves marinas. Durante el accidente del *Treasure* en junio de 2000 en Sudáfrica, 19.500 pingüinos africanos (*Spheniscus demersus*), una especie vulnerable (IUCN, 2004), fueron trasladados y liberados a 800 km de sus colonias de reproducción para evitar que se mancharan de petróleo (Crawford *et al.*, 2000). Los traslados también han resultado útiles con el pingüino enano (*Eudyptula minor*) en el accidente del *Iron Baron* en Tasmania (Hull *et al.*, 1998). Durante el accidente del *Prestige* se llegaron a plantear capturas preventivas de cormorán moñudo (*Phalacrocorax aristotelis*), pero fueron desechadas por impracticables y probablemente inefectivas.

ANEXO III

Riesgos derivados de la manipulación de fauna salvaje

Los animales salvajes se sienten amenazados ante la presencia de personas, siendo en ocasiones su respuesta natural la agresión. Pueden por lo tanto causar heridas con picos, uñas y alas, en ocasiones de consideración y que, en caso de producirse, deben ser tratadas con celeridad para evitar infecciones. Para prevenirlas se debe mantener a las aves siempre a la altura o por debajo de la cintura, para proteger la cara y los ojos de posibles lesiones.

Existen también enfermedades originadas por virus, bacterias, hongos y parásitos que pueden ser transmitidas por la fauna salvaje en general, aunque White *et al.* (1998) señalan que la transmisión es rara. Las enfermedades se pueden transmitir al hombre a través de cuatro rutas principales: a) inhalación de partículas en el aire (esporas, bacterias), b) ingestión de excrementos (proyectiles de heces, mala higiene), c) contacto dérmico y d) indirectamente a través de un vector (mordeduras/picaduras de insectos, pinchazos de agujas) (Berg, 2003).

También se puede contraer salmonelosis a través de la ingestión accidental de excrementos.

Otras infecciones bacterianas pueden ser más serias y son causadas por la exposición de heridas abiertas a bacterias contenidas en la piel, en las plumas, en los excrementos, en la saliva o en la sangre de los animales. Es posible, aunque raro, el contagio también de hepatitis y tétanos; todo el personal debe ser advertido al respecto e informado de las medidas profilácticas necesarias, en este caso la vacunación. Todas las lesiones y enfermedades deben ser tratadas a la mayor celeridad y bajo supervisión médica. En White *et al.* (1998), reproducido también en Berg (2003), se puede consultar un listado de las enfermedades más frecuentes, con información relativa al

modo de transmisión, origen más común, grupos de especies afectadas, síntomas y precauciones a adoptar durante la manipulación. También se le debe prestar especial atención a la evolución de la denominada gripe aviaria.

La mejor defensa contra las zoonosis es una buena higiene y el sentido común. Las personas que estén enfermas, embarazadas o bajo medicación, circunstancias que pueden disminuir sus defensas naturales, no deben trabajar con fauna petroleada, ya que esta circunstancia los hace más susceptibles a contraer alguna enfermedad.

Existe también riesgo de contagio de enfermedades a otras aves de corral, así como a animales domésticos y de granja, a través de las ropas o del equipo material que hayan estado en contacto con aves salvajes. Se debe prohibir por lo tanto la presencia de animales domésticos durante los trabajos de rescate y transporte. Se deben realizar además trabajos de descontaminación de todo el material de protección atendiendo a los procedimientos establecidos por la normativa en vigor, o procediendo a su desarrollo específico.

(En base a White *et al.*, 1998; Berg, 2003 e IPIECA, 2004).

ANEXO IV

Breves comentarios relacionados con la seguridad y salud

Antes de iniciar cualquier tipo de captura, se debe contar con el material de seguridad y salud personal adecuado. El equipo mínimo recomendado para las prospecciones costeras debe constar de los siguientes componentes:

- Mono de trabajo impermeable resistente al petróleo.
- Calzado antideslizante resistente al agua y al petróleo.
- Gafas protectoras.
- Guantes de goma de nitrilo o neopreno, impermeables, resistentes al petróleo y que ofrezcan protección frente a picotazos y rasguños.
- Protectores respiratorios (a determinar por los responsables médicos).

Se debe evitar el contacto de la piel, de la cara y de los ojos con el petróleo, productos de limpieza y materiales contaminados. Antes de comer, beber o fumar, uno debe quitarse el equipo de protección y lavarse la cara y las manos cuidadosamente con agua y jabón, incluso habiendo utilizado guantes; nunca se debe hacer en los lugares donde se estén manejando aves, ni tampoco junto al petróleo.

REFERENCIAS DE ESTA GUÍA

- ARCEA (2003). Avaluación dos efectos do accidente do "Prestige" sobre as aves mariñas e litorais reproductoras en Galicia. Avance. Informe inédito para la Consellería de Medio Ambiente de la Xunta de Galicia.
- BERG, C. (2003). Best practices for migratory bird care during oil spill response. U.S. Fish and Wildlife Service, Alaska.
www.fws.gov/contaminants/OtherDocuments/best_practices.pdf
- BUB, H. (1996). Bird trapping and bird banding. A handbook for trapping methods all over the world. Cornell University Press.
- BULOT, J. (1990). Le drame de L'Amocco Cadiz. J.B. Spezed, Paris.
- BURGER, A. (1993). Estimating the mortality of seabirds following oil spills: effects of spill volume. *Marine Pollution Bulletin*, 26: 140-143.
- CRAWFORD, R., DAVIS, S., HARDING, R., JACKSON, L., LESHORO, T., MEYER, M., RANDALL, R., UNDERHILL, L., UPFOLD, L., VAN DALSEN, A., VAN DER MERWE, E., WHITTINGTON, P., WILLIAMS, A. & WOLFAARDT, A. (2000). Initial effects of the Treasure oil spill on seabirds off Western South Africa. Avian Demography Unit. Department of Statistical Sciences. University of Cape Town. <http://web.uct.ac.za/depts/stats/adu/oilspill/oilspill.htm>
- ESLER, D., BOWMAN, T.D., TRUST, K.A., BALLACHEY, B.E., DEAN, T.A., JEWETT, S.C. & O'CLAIR, C.E. (2002). Harlequin duck population recovery following the 'Exxon Valdez' oil spill: progress, process and constraints. *Marine Ecology Progress Series*, 241: 271-286.
- FRINK, L. & JONES, B. (1986). Oiled bird rehabilitation: fact and fallacy. *Wildlife rehabilitation*, 5: 68-79.
- FOWLER, M.E. (1995). Handling and restraint of wild and domestic animals. Iowa State University Press. Ames, IA. 392 pp.
- GOLET, G.H., SEISER, P.E., MCGUIRE, A.D., ROBY, D.D., FISCHER, J.B., KULETZ, K.J., IRONS, D.B., DEAN, T.A., JEWETT, S.C. & NEWMAN, S.H. (2002). Long term direct and indirect effects of the 'Exxon Valdez' oil spill on pigeon guillemots in Prince William Sound, Alaska. *Marine Ecology Progress Series*, 241: 287-304.
- HULL, C., HINDELL, C., GALES, R., MEGGS, R., MOYLE, D. & BROTHERS, N. (1998). The efficacy of translocating Little Penguins *Eudyptula minor* during an oil spill. *Biological Conservation*, 86: 393-400.
- IPIECA (2004). A guide to oiled wildlife response planning. IPIECA Report Series, Vol. 13. www.ipieca.org
- IUCN (2004). 2004 IUCN Red List of Threatened Species. www.iucnredlist.org
- JOYS, A., CLARK, J.A., CLARK, N.A. & ROBINSON, R. (2005). An investigation of the effectiveness of rehabilitation of birds as shown by ringing recoveries. 49 pp. BTO Publish Report n° 324.
- LEHOUX, D. & BORDAGE, D. (2000). Deterrent techniques and bird dispersal approach for oil spills. Environment Canada, Canadian Wildlife Service.
- MADROÑO, A., GONZÁLEZ, C & ATIENZA, J.C. (eds.) (2004). Libro Rojo de las Aves de España. Dirección General para la Biodiversidad-SEO/BirdLife. Madrid.
- MARTÍ, R. & del MORAL, J.C. (eds.) (2003). Atlas de las aves reproductoras de España. Ministerio de Medio Ambiente-SEO/BirdLife. Madrid.

SHARP, B.E. (1996). Post-release survival of oiled, cleaned seabirds in North America. *Ibis* 138: 222-228.

VELANDO, A., MUNILLA, I. & LEYENDA, P.M. (2005). Short-term indirect effects of the Prestige oil spill on a marine top predator: changes in prey availability for european shag. *Marine Ecology Progress Series*, 302: 263-274.

WERNHAM, C.V., PEACH, W.J. & BROWNE, S. (1997). Survival rates of rehabilitated guillemots. BTO Research Report nº 186.

WHITE, J., PATTON, S., KASPER, A. & LAINSON, J. (1998). Recommended protocols for the care of oil-affected birds. Pacific States/British Columbia Oil Spill Task Force. Oregon.

WILLIAMS, J.M., TASKER, M.L., CARTER, I.C. & WEBB, A. (1994). A method of assessing seabird vulnerability to surface pollutants. *Ibis*, 137: 147-152.

XUNTA DE GALICIA (2003). Informe sobre as actuacións realizadas pola Dirección Xeral de Conservación da Natureza como consecuencia do vertido do buque Prestige. Con-sellería de Medio Ambiente. Dirección Xeral de Conservación da Natureza.

Prólogo	pág. 6
----------------	--------

Introducción	pág. 10
---------------------	---------

Guía 1: Recomendaciones para la limpieza manual de arenales

1. OBJETIVOS Y CONSIDERACIONES GENERALES	pág. 20
2. ORGANIZACIÓN DE LOS TRABAJOS DE LIMPIEZA	pág. 20
2.1 Delimitación de la zona de trabajo	pág. 22
2.1.1 Zona de servicios	pág. 22
2.1.2 Zona de exclusión	pág. 22
2.1.3 Zona a limpiar	pág. 23
2.2 Movimiento de personal, maquinaria y residuos en la zona de trabajo	pág. 24
2.3 Desarrollo de los trabajos	pág. 24
3. GRUPOS DE TRABAJO. ORGANIGRAMA	pág. 25
4. NORMAS GENERALES DE LIMPIEZA. HERRAMIENTAS DE LIMPIEZA	pág. 25
5. ANÁLISIS DE RIESGOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS	pág. 26
5.1 Normas sobre riesgos y medidas preventivas	pág. 27
5.2 Equipos de protección individual	pág. 27
6. GESTIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS HASTA EL GESTOR. CALIDAD MEDIOAMBIENTAL	pág. 32

Guía 2: Procedimiento para la investigación, análisis y diagnóstico de presencia de fuel en la arena de las playas

1. INTRODUCCIÓN	pág. 34
2. PLAN DE MUESTREO	pág. 34
3. METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE MUESTRAS	pág. 37
4. ANÁLISIS "IN SITU" DE LA CONTAMINACIÓN	pág. 37
5. CRITERIOS DE VALORACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	pág. 38
6. MEDIOS MATERIALES	pág. 38
7. PLAZO DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS	pág. 39

Guía 3: Procedimiento para la limpieza de zonas rocosas e infraestructuras mediante el lavado con agua a presión

1. ANTECEDENTES	pág. 40
1.1 Consideraciones generales	pág. 40
1.2 Objetivos ambientales durante los procedimientos de limpieza	pág. 40
1.3 Metodologías	pág. 42
1.4 Horizonte temporal de limpieza	pág. 43
2. PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO DE LIMPIEZA CON AGUA A PRESIÓN	pág. 43
2.1 Principios de actuación	pág. 43
2.2 Zonas de aplicación	pág. 44
2.3 Parámetros de trabajo	pág. 44
2.4 Preparación de la zona de trabajo	pág. 44
2.5 Técnicas de descontaminación	pág. 45
2.6 Condiciones de aplicación del agua a presión	pág. 46
2.7 Actuación en espacios de especial sensibilidad ecológica	pág. 46
2.8 Evolución de los trabajos sobre el terreno	pág. 48
2.9 Medios	pág. 48
2.10 Personal necesario	pág. 49
2.11 Lugares donde no es apropiada la hidrolimpieza	pág. 49
3. SEGURIDAD Y SALUD	pág. 49
3.1 Seguridad colectiva	pág. 49
3.2 Protección individual	pág. 50
3.3 Descontaminación del personal	pág. 52

Guía 4: Procedimiento para la limpieza de playas con contaminación en capas profundas

1. CONSIDERACIONES GENERALES	pág. 54
2. OBJETIVOS AMBIENTALES DURANTE LOS PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA	pág. 54
3. PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA	pág. 56
3.1 Principios de actuación	pág. 56
3.2 Zonas de aplicación	pág. 57
3.3 Técnica de descontaminación	pág. 58
4. COORDINACIÓN Y DESARROLLO DE LOS TRABAJOS	pág. 66

5. ASPECTOS AMBIENTALES	pág. 68
5.1 Generación de residuos y contaminación de material limpio	pág. 68
5.2 Impacto secundario derivado de la afección a zonas sensibles	pág. 69

Guía 5: Procedimiento para la limpieza de borde vegetal afectado y áreas con presencia de contaminación secundaria

1. CONSIDERACIONES GENERALES	pág. 72
2. OBJETIVOS AMBIENTALES Y JERARQUÍA	pág. 74
3. ANÁLISIS AMBIENTAL	pág. 75
3.1 Información	pág. 75
3.2 Documentación	pág. 76
3.3 Análisis de la documentación	pág. 76
4. PROPUESTA DE ACTUACIÓN	pág. 77
5. PROPUESTA DE VIGILANCIA Y SEGUIMIENTO	pág. 77
6. PROGRAMA DE FORMACIÓN DEL PERSONAL Y PRECAUCIONES AMBIENTALES	pág. 78
7. CASOS DE AFECCIÓN POR FUEL O IMPACTO SECUNDARIO POR LAS TAREAS DE LIMPIEZA	pág. 79
7.1 Poblaciones vegetales afectadas	pág. 79
7.1.1 Poblaciones de especies vegetales sensibles	pág. 80
7.1.2 Poblaciones de especies vegetales no sensibles	pág. 81
7.2 Zonas contaminadas especiales o sensibles	pág. 82
7.2.1 Presencia de fuel en cauces fluviales o estuarios	pág. 82
7.2.2 Presencia de fuel en zonas próximas a turberas litorales	pág. 83
7.2.3 Vegetación afectada en bordes fluviales o estuarios	pág. 84
7.2.4 Zonas y estructuras de uso público	pág. 84
7.2.5 Vegetación afectada en zonas de marisma o pantanosas	pág. 85
7.2.6 Afección en sistemas dunares	pág. 87
7.3 Contaminación de zonas rocosas	pág. 89
7.4 Vegetación y estructuras afectadas secundariamente por las tareas de limpieza	pág. 90
7.4.1 Dunas inestables	pág. 90
7.4.2 Roderas de maquinaria, vehículos y otras zonas afectadas	pág. 91

Guía 6: Procedimiento para la limpieza de playas de cantos y bolos

1. OBJETIVOS Y CONSIDERACIONES GENERALES	pág. 96
2. LAS PLAYAS DE CANTOS Y BOLOS	pág. 99
2.1 Valor geomorfológico y ambiental	pág. 99
2.2 Los efectos de un vertido	pág. 100
3. MÉTODOS ALTERNATIVOS DE LIMPIEZA	pág. 101
3.1 Acción del mar y su energía	pág. 101
3.2 Recogida mecánica directa	pág. 102
3.2.1 Uso de Skimmers	pág. 102
3.2.2 Uso de maquinaria de movimiento de graneles	pág. 102
3.3 Limpieza manual	pág. 103
3.4 Proceso de elaboración de una balsa para reblandecimiento de cantos e hidrolimpieza posterior	pág. 105
3.5 Elaboración de una balsa con adición de nutrientes	pág. 108
3.6 Desplazamiento de bolos hacia la zona de rompiente del oleaje	pág. 108
3.6.1 Desplazamiento manual de bolos a la zona de rompiente, sin sustitución de bolos	pág. 110
3.6.2 Desplazamiento manual de bolos a línea de rompiente, con sustitución de bolos impregnados por otros limpios	pág. 112
3.6.3 Desplazamiento mecánico de bolos a la zona de rompiente, con sustitución de bolos manchados por otros limpios	pág. 113
3.6.4 Desplazamiento mecánico de bolos a la zona de rompiente, sin sustitución de bolos	pág. 114
3.7 Otras propuestas de actuación	pág. 115
3.7.1 Lavado de bolos en planta	pág. 115
3.7.2 Lavado mediante inundación de zonas afectadas por arrastre de material contaminado	pág. 115
4. INFORMACIÓN INTEGRAL PREVIA SOBRE LA ZONA DE TRABAJO. FICHA DE RECONOCIMIENTO DE ZONA CONTAMINADA	pág. 116
5. ELECCIÓN DEL MÉTODO MÁS ADECUADO. MATRIZ DE IMPACTOS Y MÉTODOS DE LIMPIEZA	pág. 117
6. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO Y MINIMIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DERIVADOS DE LA LIMPIEZA	pág. 117
6.1 Recomendaciones generales	pág. 118
6.2 Recomendaciones específicas	pág. 119

6.2.1 Limpieza manual	pág. 119
6.2.2 Recogida mecánica directa	pág. 120
6.2.3 Bajada mecánica de bolos	pág. 120
6.2.4 Bajada manual de bolos	pág. 121
6.2.5 Hidrolimpieza	pág. 123
6.2.6 Biorremediación (biorrecuperación)	pág. 123

Guía 7: Procedimiento para la actuación con técnicas de biorremediación en entornos rocosos impregnados con fuel

1. INTRODUCCIÓN. ANTECEDENTES INMEDIATOS DEL PRESENTE PROCEDIMIENTO	pág. 130
2. BASES DE LA BIORREMEDIAÇÃO	pág. 132
3. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL USO DE LA BIORREMEDIAÇÃO	pág. 133
3.1 Lentitud del proceso	pág. 133
3.2 Inadecuación cuando es posible la recogida mecánica	pág. 133
3.3 Resistencia a la biodegradación de las diferentes fracciones del petróleo	pág. 133
3.4 Problemas asociados al envejecimiento del petróleo	pág. 134
3.5 Problemas asociados a diferentes tipos de entornos naturales	pág. 134
3.6 Superfluidad en áreas expuestas al oleaje, o de cantos rodados	pág. 135
3.7 Pertinencia de la biorremediación en entornos litorales	pág. 135
3.7.1 Tratamientos "in situ"	pág. 136
3.7.2 Tratamientos "ex situ"	pág. 136
3.8 Uso potencial de la biorremediación en diferentes bordes litorales	pág. 137
3.8.1 Espacios terrosos, suelos vegetales	pág. 137
3.8.2 Sedimentos inter o submareales	pág. 137
3.8.3 Espacios arenosos	pág. 138
3.8.4 Espacios rocosos	pág. 138
3.8.5 Playas de grava gruesa y cantos	pág. 139
4. TIPOS DE BIORREMEDIOS Y PERTINENCIA DE SU APLICACIÓN	pág. 139
4.1 Equilibrar el exceso de carbono y favorecer las oxidaciones	pág. 139
4.2 Proporcionar cosustratos y formas de carbono "blando"	pág. 140
4.3 Favorecer la bioaccesibilidad del fuel y la retención de microbiota	pág. 140
4.4 Permitir protocolos de aplicación sencillos	pág. 140
5. DOSIS Y PERIODICIDAD DE LAS APLICACIONES FERTILIZANTES	pág. 140
5.1 Fertilizantes agrícolas convencionales	pág. 141
5.1.1 Relaciones entre los nutrientes fundamentales	pág. 141

5.1.2 Concentración de las soluciones a aplicar	pág. 141
5.1.3 Posible suplementación con materiales adsorbentes o absorbentes	pág. 142
5.1.4 Periodicidad de las aplicaciones	pág. 142
5.1.5 Posible utilidad del seguimiento del pH	pág. 142
5.2 Fertilización con productos de base oleosa	pág. 143
5.2.1 Dosificación	pág. 143
5.2.2 Efecto del aumento de la carga de fuel	pág. 144
5.2.3 Periodicidad de las aplicaciones y criterios de economía	pág. 144
5.2.4 Conservación, equipo y modo de aplicación	pág. 145
5.2.5 Uso de biorremedios oleosos en biopilas	pág. 145
5.2.6 Seguimiento del proceso	pág. 146
6. LOS BIORREFUERZOS Y SUS LIMITACIONES	pág. 146
7. MÉTODOS PARA EVALUAR LA EFICACIA DE LOS TRATAMIENTOS	pág. 147
7.1 El problema de la heterogeneidad espacial	pág. 147
7.1.1 Suelos, biopilas	pág. 147
7.1.2 Roquedos	pág. 148
7.2 Análisis de imagen	pág. 148
7.3 Cuantificación del petróleo remanente	pág. 150

Guía 8: Recomendaciones para la recogida y transporte de aves petroleadas

1. INTRODUCCIÓN	pág. 162
2. CÓMO AFECTA EL VERTIDO DE PETRÓLEO A LAS POBLACIONES DE AVES MARINAS	pág. 164
3. PRIMERA PARTE	pág. 166
3.1 Guía para la definición de las mejores estrategias para prevenir que el petróleo afecte a las aves y a sus hábitat	pág. 166
4. SEGUNDA PARTE	pág. 174
4.1 La estrategia de búsqueda	pág. 176
4.2 La toma de datos en el campo	pág. 177
4.3 Estrategias de captura de aves vivas	pág. 178
4.4 Técnicas de captura y manipulación de aves vivas	pág. 179
4.5 Primeros auxilios para las aves vivas	pág. 181
4.6 El traslado de ejemplares a los centros de rehabilitación	pág. 182
4.7 La suelta de ejemplares rehabilitados	pág. 184

Colaboradores

pág. 204

Colaboradores

En la elaboración de las actuaciones contenidas en la presente publicación han participado:

▶▶ **Guía 1: Recomendaciones para la limpieza manual de arenales**

José Manuel García Troitiño
Ingeniero Agrónomo. TRAGSA
Miguel Domingo Rodríguez Ruzo
Coordinador de Calidad e Informática Técnica, TRAGSA
Emilio Esteban Rodríguez Merino
Biólogo. CEPRECO, Ministerio de la Presidencia
Xoán Nóvoa Rodríguez
CEPRECO, Ministerio de la Presidencia

▶▶ **Guía 2: Procedimiento para la investigación, análisis y diagnóstico de la presencia de fuel en la arena de las playas del litoral**

Felipe Macías Vázquez
Catedrático de Edafología de la Universidad de Santiago de Compostela
Rafael Eimil Apenela
Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente
Xoán Nóvoa Rodríguez
CEPRECO, Ministerio de la Presidencia

▶▶ **Guía 3: Procedimiento para la limpieza de zonas rocosas e infraestructuras del litoral contaminado susceptibles de actuación mediante lavado con agua a presión**

Felipe Macías Vázquez
Catedrático de Edafología de la Universidad de Santiago de Compostela
Rafael Eimil Apenela
Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente
Ricardo Babío Arcay
Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente
Xoán Nóvoa Rodríguez
CEPRECO, Ministerio de la Presidencia

▶▶ **Guía 4: Procedimiento para la limpieza de playas con contaminación en Capas Profundas**

Felipe Macías Vázquez
Catedrático de Edafología de la Universidad de Santiago de Compostela
Javier del Real Tuñón
Licenciado en Ciencias Biológicas
Rafael Eimil Apenela
Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente
Carlos Gil Villar
Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente
Ricardo Babío Arcay
Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente
Xoán Nóvoa Rodríguez
CEPRECO, Ministerio de la Presidencia

▶▶ **Guía 5: Procedimiento para la limpieza de Borde Vegetal afectado y áreas con presencia de contaminación secundaria**

Javier del Real Tuñón
Licenciado en Ciencias Biológicas
M^a Victoria Rozados Fernández
Licenciada en Ciencias Biológicas
Carlos Gil Villar
Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente
Xoán Nóvoa Rodríguez
CEPRECO, Ministerio de la Presidencia

COLABORADORES

▶▶ **Guía 6: Procedimiento para la limpieza de playas de cantos o bolos**

Ángel Lorenzo Silva
Licenciado en Ciencias Biológicas. TRAGSA
Emilio Esteban Rodríguez Merino
Biólogo. CEPRECO, Ministerio de la Presidencia
Xoán Nóvoa Rodríguez
CEPRECO, Ministerio de la Presidencia

▶▶ **Guía 7: Procedimiento para la actuación con técnicas de biorremediación en entornos rocosos impregnados de fuel**

Grupo de Reciclado y Valoración de Materiales Residuales, Departamento de Biotecnología y Acuicultura.
Instituto de Investigaciones Marinas de Vigo, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
Dirección: Xoán Nóvoa Rodríguez & Emilio Esteban Rodríguez Merino.
CEPRECO, Ministerio de la Presidencia.

▶▶ **Guía 8: Procedimiento para la recomendación para la recogida y transporte de aves petroleadas**

Redacción: Francisco Arcos, Miguel Salvande, & Rafael Salvadores
Fotografías: Jorge Mouriño, Rafael Salvadores & Miguel Salvande
Ilustraciones y mapas: Rafael Salvadores & Javier César
ARCEA XESTIÓN DE RECUSOS NATURAIS S.L.
Dirección: Xoán Nóvoa Rodríguez & Emilio Esteban Rodríguez Merino.
CEPRECO, Ministerio de la Presidencia.