



**MAPAS DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL:
UNA HERRAMIENTA CONTRA
LA CONTAMINACIÓN MARINA**

*Por D. José Antonio Perales Vargas-Machuca.
Profesor Titular de Tecnologías del Medio Ambiente.*



*D. José Antonio Perales Vargas-Machuca.
Profesor Titular de Tecnologías
del Medio Ambiente.*

Doctor Ingeniero Químico por la Universidad de Cádiz.
Premio Extraordinario de Doctorado por la Universidad de Cádiz.
Profesor Asociado a tiempo completo y Profesor Titular de Universidad.
Imparte docencia en la Escuela Politécnica Superior de Algeciras en las asignaturas: Control, Tratamiento y Depuración de Aguas; Diseño de Instalaciones para el Tratamiento de Aguas de la Titulación Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

Dentro de la titulación de IT Industrial, especialidad en Química Industrial, ha impartido docencia en las asignaturas: Evaluación y Control de la Contaminación Ambiental de Origen Industrial; Diseño de Equipos e Instalaciones para el Tratamiento de Efluentes Industriales y Tecnología para el Tratamiento de Efluentes Industriales.

En segundo ciclo impartió las asignaturas de Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente e Ingeniería Medioambiental del Título de Ingeniero Insutrial.

Ha autorizado 23 proyectos de fin de carreta a alumnos de las titulaciones anteriormente mencionadas.

Asimismo imparte Cursos de Doctorado de Ingeniería Ambiental y Tecnologías para el control de la Contaminación dentro del Programa de Coctorado de Ingeniería Industrial.

Ha participado en calidad de investigador en tres proyectos de I+D financiados en convocatorias públicas (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología).

Tiene publicados un total de doce artículos internacionales indexados en el *Journal Citation Report*, así como seis artículos nacionales además de trece contratos de I+D y servicios firmados con organismos públicos y privados en calidad de becario, investigador e investigador responsable.

Realizó una estancia en el *Department of Theoretical Biology, Faculty of Biology* de la *Vrije University* en Amsterdam.

Actualmente es codirector de tres tesis doctorales que están en fase de realización en la Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales.

Ha sido coordinador de un curso de Perfeccionamiento de la Universidad de Cádiz, miembro del Comité Organizador de unas jornadas de la Mesa Española de Tratamiento de Aguas, Red Temática de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, y ha sido organizador y miembro del Comité Científico del *Workshop on Marine Bioremediation Technologies*, grupo de trabajo promovido por la Asociación Española de Ciudades de la Pesca (AECIPE) y la Unión Europea sobre tecnologías de Biorremediación en el Ámbito Marino.

9 · MAPAS DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL: UNA HERRAMIENTA CONTRA LA CONTAMINACIÓN MARINA

*Por D. José Antonio Perales Vargas-Machuca.
Profesor Titular de Tecnologías del Medio Ambiente.*

El Estrecho de Gibraltar está incluido en el “Mapa de riesgos de mareas negras de España” como una de las seis zonas costeras de mayor peligro de contaminación por hidrocarburos. Las otras son la costa de Galicia, el litoral mediterráneo entre Tarragona y Castellón, las islas Baleares, Canarias y Cartagena.

Los factores que hacen del estrecho una zona de alto riesgo podrían resumirse en:

1. La densidad de tráfico.

Catorce kilómetros separan las dos orillas del embudo por su tramo más angosto, entre Punta Europa y Cabo Malabata, y por él discurren entre el Atlántico y el Mediterráneo, según los datos de Tarifa-Tráfico, en el año 2001, 56.679 buques mercantes. Según estos datos, el 10% del tráfico marítimo internacional atravesaría el Estrecho de Gibraltar. El número de petroleros que transitan por el Estrecho se cifra en unos 5.000 al año, entre 10 y 15 diarios.

2. Repostaje.

Según el censo de la empresa arrendataria británica Simpson Spence and Young (SSY), actualmente hay en activo 3.406 petroleros en el mundo, de los que 1.065 tienen más de 20 años. Una docena de

ellos atraviesa el Estrecho cada jornada. Y algunos, hacen escala para cargar combustible. Cerca de tres millones de toneladas de fuel se trasvasan al año en el puerto de Gibraltar y 1,5 millones de toneladas en el de Algeciras. Este abastecimiento de combustible se realiza a menudo mediante buques nodrizas que trasvasan el fuel a cisternas más pequeñas que a su vez alimentan a las gabarras encargadas de acercar el combustible a los clientes.

3. La refinería de CEPSA y su complejo petroquímico anexo

La Refinería “Campo de Gibraltar” cuenta con cuarenta y cinco unidades de procesos que han permitido transformar, durante el año 2001, 10.227.450 de toneladas de crudo en una cantidad equivalente de más de setenta productos terminados diferentes: Combustibles derivados del petróleo (Gas, LPG, gasolinas, querosenos, gasóleos, fueles) y Petroquímicos, de primera y segunda generación, sólidos, líquidos y gaseosos (propileno, benceno, tolueno, oxileno, p-xileno, disolventes alifáticos y aromáticos, tintas, anhídrido ftálico y málico, ácido fumárico, azufre).

Para la recepción, almacenamiento y expedición de materias primas y productos la Refinería cuenta con más de ciento cincuenta tanques de almacenamiento, con una capacidad total de aproximadamente 2.000.000 de metros cúbicos, unas instalaciones portuarias con siete puntos de atraque de buques de hasta 350.000 toneladas y una conexión con el Oleoducto Rota/Zaragoza, amén de cargaderos de cisternas y camiones para el transporte de productos por carretera o por ferrocarril.

LOS MAPAS DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL

Los mapas de sensibilidad ambiental (MASA) han sido un componente integral de los planes de contingencia y respuesta de derrames de hidrocarburo desde 1979, cuando fue preparado el primer mapa de sensibilidades días antes de la llegada de la marea negra procedente de la explosión del IXTOC1 en el Golfo de Méjico. Desde entonces, los MASA han sido utilizados en diversos países con riesgo de sufrir los efectos de derrames de hidrocarburo en sus costas,

como son: Estados Unidos, Francia, Alemania, Italia, Nigeria, Kuwait, Arabia Saudita, Omar, Emiratos Árabes Unidos, Malasia y Nueva Zelanda entre otros.

Los primeros mapas de sensibilidad ambiental fueron mapas sobre el papel codificados por colores, de distribución limitada (debido principalmente al coste de la producción) y sin capacidad de fácil actualización. Con la llegada de los sistemas de información geográfica (SIG) informatizados, la automatización de la información recogidas en los MASA y su integración con otras herramientas útiles como los programas de predicción de la trayectoria de las manchas de hidrocarburo, se ha abierto un nuevo campo de posibilidades y mejora. De este modo los MASA han pasado de ser un producto estático de distribución limitada a una herramienta útil, eficaz y versátil para la planificación y respuesta frente a los derrames de hidrocarburo en ambientes marinos.

Los MASA están concebidos como herramientas fundamentales para:

- La planificación de las medidas y recursos necesarios para responder ante futuros derrames de hidrocarburo (Plan de contingencia)
- La organización y planificación de las medidas a adoptar para actuar ante un accidente que acaba de ocurrir (Plan de actuación o respuesta)

Plan de Contingencia

Un aspecto integral en el proceso de planificación previo al derrame es la designación de las prioridades de protección para el escenario potencialmente afectado, de modo que puedan conocerse las necesidades de material de contención específicos para la zona.

Estas prioridades derivan del análisis de los recursos amenazados. Asimismo, la planificación previa incluye el desarrollo de una estrategia de limpieza de la costa, la cual está basada en sus usos y tipos.

El proceso de planificación previo al derrame resulta más útil, práctico y consistente cuando incluye el acceso a un sistema automatizado capaz de generar no solo mapas a diversas escalas, sino también un sistema que permita ayudar a la toma de decisiones acerca de la estrategia de limpieza a seguir y los recursos que la decisión adoptada requiere.

Plan de actuación o respuesta

Cuando se recibe la notificación de un derrame, uno de los primeros pasos a seguir es la predicción de la trayectoria que va a seguir, para lo cual los sistemas de predicción de movimientos de hidrocarburo en el Mar resultan imprescindibles. Con tales sistemas, es posible predecir cual va a ser la franja litoral potencialmente afectada. A continuación, el siguiente paso consistiría en consultar los MASA para determinar de una forma rápida y eficaz que recursos se encuentran amenazados, de modo que se pueda actuar con presteza y precisión estableciendo los oportunos sistemas de protección de aquellas zonas que presenten un especial interés de acuerdo a su sensibilidad, bien debido a su valor ecológico o económico, o bien debido a la dificultad que supondría su posterior limpieza.

Los MASA son multidisciplinares, permitiendo una rápida evaluación de la magnitud potencial del impacto del derrame, basado en las características del hidrocarburo y la trayectoria de la mancha. Solamente si tales datos han sido recopilados en una serie de mapas, estos pueden ser utilizados para soportar decisiones críticas en el tiempo, tales como el uso de barreras de contención.

Una vez que el hidrocarburo ha llegado a la costa, los MASA junto a los informes de evaluación de campo de la zona afectada, pueden ser utilizados para generar mapas de actuación específicos que resultan una fuente de información imprescindible para la toma de decisiones respecto a:

Antes de actuar:

1. Las medidas hay que tomar para proteger las áreas más sensi-

bles no contaminadas

2. El grado de prioridad tiene la limpieza de una determinada zona
3. Los objetivos de limpieza para cada zona
4. La necesidad de proceder a la limpieza de una determinada zona
5. Las técnicas de limpieza más apropiadas

Durante la actuación

1. Conocer si se están llevando a cabo las labores de limpieza apropiadamente
2. Saber si es efectiva la técnica de limpieza seleccionada
3. Los daños colaterales que se pueden producir durante las labores de limpieza
4. Si se puede considerar finalizada la tarea de limpieza

La información típicamente contenida en un mapa de sensibilidad ambiental es tan útil como diversa, pero en líneas generales podríamos clasificarla en tres grupos:

1. Descripción Geomorfológica
2. Recursos Biológicos
3. Usos Antrópicos

1. Descripción Geomorfológica

Las relaciones entre los procesos físicos, el tipo de sustrato y la biota asociada, produce asociaciones específicas entre las características

geomorfológicas y las ecológicas de cada tramo costero, así como, patrones de transporte de sedimentos y pautas específicas predecibles respecto al comportamiento del fuel y el impacto biológico. Los principales elementos que definen este comportamiento son:

- A. Grado de exposición al oleaje y carrera de marea
- B. Pendiente del perfil de costa
- C. Tipo de substrato

A. Grado de exposición al oleaje y carrera de marea

En el texto “Between Pacific Tides”, Ricketts y col. (1985) clasificaron los hábitats costeros de la zona litoral central de California en expuestas y resguardadas, diferenciando entre escenarios sujetos a un intenso combate por grandes olas y aquellos resguardados por barreras, rocas fuera de costa y otros elementos naturales protectores. Los primeros estudios geomorfológicos en los accidentes del Metula, Urquiola y Amoco Cádiz mostraron que el grado de impacto de los derrames de Hidrocarburo están fuertemente relacionados con el grado relativo de exposición del hábitat impactado (Hayes y Gundlach, 1975; Gundlach y Hayes, 1978; Gundlach y col., 1978; Michel y col., 1978). Dos factores físicos, el flujo de energía del oleaje y el flujo de energía mareal, determinan a priori el grado de exposición, también denominado como nivel de energía hidrodinámica en la línea de costa.

El flujo de energía del oleaje es básicamente función de la altura media de ola. En aquellos sitios donde las olas son usualmente grandes (por ejemplo, olas frecuentes de más de un metro) el impacto de los derrames de fuel en hábitats expuestos es reducido debido a:

- Las corrientes en dirección opuesta a la línea de costa, generadas por las olas al reflejarse sobre los lechos de rocas empujan el Hidrocarburo fuera de la costa.
- Las corrientes generadas por las olas mezclan y remueven los

sedimentos costeros, los cuales suelen ser de grano grueso en estos escenarios, eliminando rápidamente el fuel previamente depositado.

- Los organismos adaptados a vivir en estos ambientes, suelen estar acostumbrados a perturbaciones ambientales de corta duración.

El flujo de energía mareal también es importante a la hora de determinar el impacto potencial de los derrames de Hidrocarburo sobre los hábitats costeros, aunque no de forma tan generalizada como los flujos de energía del oleaje. La consideración más importante es el potencial de las fuertes corrientes mareales de eliminar el fuel depositado y de generar y mover barreras intermareales de arena y / o grava que pueden enterrar el fuel.

B. Pendiente de la línea de costa

La pendiente de costa es una medida del perfil de la zona intermareal entre la máxima pleamar y bajamar. Puede ser caracterizada como escarpada ($>30^\circ$), moderada ($30 - 5^\circ$) o plana ($< 5^\circ$). La importancia de la pendiente de la costa en escenarios expuestos es su efecto sobre la reflexión y ruptura de ola. Las áreas intermareales escarpadas suelen estar sujetas a abruptas rupturas y acumulaciones de olas, e incluso la reflexión, los cuales favorecen la limpieza natural de la costa. Por otra parte, las áreas intermareales planas, promueven la disipación de la energía de ola, lo que permite que el hidrocarburo permanezca más tiempo en la zona intermareal.

C. Tipo de substrato

La distinción más importante referente al substrato es entre lecho de rocas y sedimentos no consolidados. En este último caso, existe la probabilidad de percolación y / o enterramiento del hidrocarburo. La percolación y el enterramiento son mecánicamente diferentes, pero cuando alguno de estos mecanismos, o los dos, ocurren en substratos sedimentarios, aumenta la persistencia del Hidrocarburo, lo que conlleva un mayor potencial de impacto biológico a largo

plazo, y hace que las operaciones de limpieza sean más complicadas e intrusivas.

La percolación tiene lugar cuando el Hidrocarburo extendido sobre la superficie, penetra en sedimentos permeables; la profundidad de penetración es un aspecto controlado por las propiedades físico-químicas del Hidrocarburo (principalmente viscosidad y densidad), el tamaño de grano del substrato así como la distribución de estos (rango de tamaños de grano en los sedimentos). La máxima penetración es de esperar en el caso de sedimentos gruesos (grava) que son a su vez los más uniformes de tamaño de grano (buena-distribución)

El enterramiento tiene lugar cuando se depositan sedimentos limpios sobre capas de hidrocarburo. La velocidad de enterramiento puede variar mucho y puede ser tan corta como de seis horas (la mitad de un ciclo mareal). El enterramiento más rápido suele tener lugar en playas de arena de grano grueso, debido a que estas tienen la máxima movilidad bajo condiciones normales de oleaje y marea. Las tormentas pueden movilizar bermas o barras, enterrando el hidrocarburo en playas de grava. A lo largo de las líneas de costa con patrones de fuertes tormentas estacionales, pueden haber ciclos anuales de erosión/deposición en el perfil de playa así como patrones de distribución de sedimentos. Estas zonas costeras presentan el mayor potencial de enterramiento, particularmente si el hidrocarburo llega a costa al comienzo de un periodo de deposición.

La identificación de substratos artificiales es en general sencilla, debido a su usual apariencia “no natural” desde el aire. De los tipos de costa artificial, las escolleras es el tipo de substrato más importante de identificar, tanto las resguardadas como las expuestas, debido a las consideraciones de respuesta y la persistencia potencial del hidrocarburo.

El tipo de substrato también afecta a la viabilidad de tránsito tanto para personas como para maquinaria a la hora de maniobrar durante las operaciones de limpieza.

2. Recursos biológicos

- Los recursos biológicos presentan un mayor riesgo como consecuencia de derrames de hidrocarburos cuando:
- Existe una elevada concentración de individuos en un área relativamente pequeña.
- Son áreas de elevada riqueza y biodiversidad biológica.
- Existen zonas hacia las que determinadas especies acuáticas migran en determinados estadios de su ciclo vital para anidar, desovar, etc.
- Las zonas potencialmente afectadas son áreas de descanso o de paso de especies en sus rutas migratorias.
- Se trata de hábitats para especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.
- Se trata de una zona de alta interconectividad con otros humedales.

Todas estas circunstancias se dan en el Estrecho de Gibraltar, que además de punto de confluencia en la migración de organismos terrestres entre los continentes europeo y africano, constituye la única vía de entrada natural y consecuentemente la ruta fundamental para los organismos marinos que migran entre el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo.

Por lo tanto, el objetivo de hacer un mapa de recursos biológicos consiste en identificar la localización de las áreas de mayor concentración y de los estadios de vida y fases de actividad de ciertas especies más sensibles, y sus variaciones en el ciclo anual debidas a los patrones fenológicos de los organismos. Las especies que se priorizarían en estos mapas son aquellas que con un mayor estatus de amenaza y que son especialmente sensibles al derrame de hidrocarburo así como a las alteraciones relacionadas con las actividades de respuesta.

3. Usos antrópicos

Los recursos antrópicos pueden dividirse dentro de cuatro grandes categorías:

- Zonas de alto uso recreacional
- Espacios naturales protegidos
- Zonas de extracción de recursos
- Recursos Culturales

Áreas Recreacionales

Las áreas recreacionales mostradas en los mapas de sensibilidad incluyen playas de alto uso recreacional, zonas de pesca deportiva, de buceo, navegación recreativa, etc. Las rampas para embarcaciones y las marinas también son importantes, tanto como lugares de recreo como porque suponen puntos de acceso para las actividades de respuesta junto con aeropuertos, helipuertos y ferries.

Espacios naturales protegidos

Estas áreas de gestión incluyen parques nacionales, parques, reservas y parajes naturales así como los parques periurbanos. Estas zonas tienen una serie de peculiaridades tanto en su gestión como en la regulación de las actividades que en ellas se realicen en caso de tener que responder a un derrame de hidrocarburos.

Zonas de extracción de recursos

Estas zonas incluyen: tomas de agua para refrigeración, instalaciones de acuicultura o potabilización así como áreas de pesca y marisqueo.

Estas zonas son un componente crítico de los MASA, particularmente las zonas de marisqueo y de pesca. Las zonas indicadas en el

mapa deben incluir especialmente aquellas zonas no comerciales de recolección, pero de gran importancia cultural y económica para la población local.

Recursos culturales

Los recursos culturales incluyen lugares de interés histórico / arqueológico o religioso. Los tipos de recursos culturales más sensibles son aquellos que están localizados en la zona intermareal o muy próximos a la costa, por lo que pueden verse afectados bien directamente por el hidrocarburo o por las actividades de respuesta y limpieza.

CONCLUSIÓN

Si bien en muchos países se está implementando la utilización de los mapas de sensibilidad ambiental como herramienta básica a la hora de realizar planes de contingencia, en España, a excepción de la normativa reciente (RD 253/2004) que los incluye pero solamente a nivel Local, no existe ni metodología, ni obligación de su realización.

Creo que resultaría de gran ayuda el establecimiento de una metodología a la hora de realizar mapas de sensibilidad en aquellas zonas del litoral español más amenazadas por derrames de hidrocarburos. En este sentido, se habría que prestar especial atención a las zonas con un elevado tráfico de petroleros (Estrecho de Gibraltar, Costa de la Muerte) o donde se localicen Refinerías de Petróleo, como es el caso de Huelva, Algeciras, Cartagena, Castellon, Tarragona, Bilbao, La Coruña y Tenerife.

REFERENCIAS

Gundlach, E.R. and M.O. Hayes. 1978. Chapter 4: Investigations of beach processes. In: W.N. Hess (Ed.), The AMOCO CADIZ Oil Spill, A Preliminary Scientific Report. NOAA/EPA Special Report. Boulder: National Oceanic and Atmospheric Administration. pp. 85-196.

Gundlach, E.R., C.H. Ruby, M.O. Hayes, and A.E. Blount. 1978. The URQUIOLA oil spill, La Coruna, Spain: Impact and reaction on beaches and rocky coasts. *Environmental Geology* (2)3:131-143.

Hayes, M.O. and E.R. Gundlach. 1975. Coastal geomorphology and sedimentation of the METULA oil spill site in the Strait of Magellan. Columbia, South Carolina: University of South Carolina, Department of Geology.

Keith LH, Teilliard WA. 1979. Priority pollutants I—A perspective view: *Environ Sci Technol* 13:416–423

Michel, J., M.O. Hayes, and P.J. Brown. 1978. Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of lower Cook Inlet, Alaska. *Environmental Geology*(2)2:107-117.

Overton, 1994. Toxicity of petroleum. In: *Basic Environmental Toxicology*. Cockerham & Shane [Eds], Chapter 5, pp. 133-156.

Petersen, Jill; Michel, Jacqueline; Zengel, Scott; White, Mark; Lord, Chris; Plank, Colin. 2002. *Environmental Sensitivity Index Guidelines (Version 3.0)*. National Oceanic and Atmospheric Administration. U.S. Department of Commerce. Seattle, Washington. <http://www.response.restoration.noaa.gov/esi/guidelines/guidelines.html>

Ricketts, E.F., J. Calvin and J.W. Hedgpeth (revised by D.W. Phillips, 5th edition). *Between Pacific Tides*. Stanford, CA; Stanford University Press, 1985.