

## **EL MODELO S.O.N.I.A: SU APLICACIÓN A LA GESTIÓN DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN EL MAR**

**José Ramón Bergueiro López.**

### **RESUMEN:**

¿Qué se debe hacer ante un petrolero accidentado?. ¿Hay que alejarlo de la costa en todos los casos, o es posible que en ocasiones sea más conveniente trasladarlo a una zona refugio donde poder llevar a cabo el traslado del combustible a lugar seguro?.

Tres simulaciones de accidentes de petroleros en las cercanías de los puertos de Palma, Maó y Eivissa servirán para elaborar un manual utilizable en la toma de decisiones ante este tipo de siniestros.

El manual determinará en qué condiciones es mejor una u otra solución, especificará las condiciones mínimas de garantías (infraestructuras, servicios, personal, etc.) que debe tener un puerto o zona refugio para albergar.

**PALABRAS CLAVE:** Contaminación, Hidrocarburos, Plan Contingencia.

### **ABSTRACT:**

What is due to do before a rough oil tanker. Hay to move away it of the coast in all the cases, or is possible that sometimes he is more advisable to transfer it to a zone refuge where to be able to carry out the transfer from the fuel to safe place. Three simulations of accidents of oil tankers in the neighborhoods of the ports of Palma, Maó and Eivissa will serve to elaborate manual a usable one in the decision making before this type of wrecks. The manual will determine in what conditions one or another solution is better, will specify the minimum conditions of guarantees (infrastructures, services, personnel, etc.) that must have a port or zone refuge to lodge..

**KEY WORDS:** Pollution, Fuel Oil/Hydrocarbon, Contingency Plan.

## INTRODUCCIÓN.

Con aproximadamente 1.200 kilómetros de costas, las Islas Baleares, junto con las otras grandes islas del Mediterráneo Occidental, Córcega, Cerdeña y Sicilia, presentan un patrimonio único en términos de ecosistemas que debe preservarse en términos de biodiversidad. Desde este punto de vista estas islas pueden considerarse como “islas laboratorio” en donde la biodiversidad fue mantenida hasta la década de los 60 debido a una población relativamente baja y a casi una ausencia de turismo y de complejos industriales.

A partir de la década de los 60 las Islas Baleares tienen un desarrollo muy importante del turismo, recibiendo cada año del orden de 8 millones de turistas frente a los 800.000 habitantes residentes. La presencia de las diferentes actividades ligadas al turismo hace que el mar balear necesite tener un Plan de Gestión Integrada de sus zonas costeras, que permita el mantenimiento del recurso turístico así como la ecología de la zona.

### 2.- Modelos o sistemas de gestión de derrames.

Se trata de una serie de sistemas de ayuda en la gestión de un derrame una vez producido (es decir, en el diseño y en la ejecución del «plan operativo» óptimo de un plan de emergencia) para minimizar sus efectos a todos los niveles y para recuperar los ecosistemas afectados; también se denominan sistemas de ayuda en la «toma de decisiones» en situaciones de emergencia. Estos sistemas, también denominados «herramientas operacionales», precisan de sistemas informáticos de potencia y velocidad de proceso elevadas, así como de un software especialmente diseñado. La información que precisa el modelo puede encontrarse tabulada en bancos de datos, aunque también puede introducirse a nivel de teclado. Puede referirse tanto a las propiedades del producto derramado, como a las características cartográficas y ambientales de la zona o a los medios de combate de los que se dispone.

De un producto debe conocerse su flotabilidad en el agua, su volatilidad, su coeficiente de esparcimiento y su solubilidad y por tanto su distribución en el agua, en el aire y en los sedimentos; sus niveles de inflamabilidad inferior y superior y de explosionabilidad y en que condiciones; su toxicidad en el aire (con o sin incendio) y en el agua, incluyendo los efectos a largo plazo; su reactividad en agua, en aire o con otros

productos y su sensibilidad a la luz solar y a la acción de los microorganismos; su persistencia en el tiempo en el medio ambiente y en algunos casos su radiactividad. Para decidir una intervención deben conocerse los medios de urgencia disponibles para controlar el incendio de un derrame o de un buque, y los disponibles en caso de intoxicación por inhalación, contacto o ingestión. Igualmente debe de conocerse la accesibilidad al lugar del accidente, la posibilidad de trasvase de la carga desde el buque o medio de transporte accidentado o los medios de contención y recuperación del producto derramado disponibles y su utilizabilidad en la zona.

Igualmente deben conocerse los medios de lucha contra la contaminación: barreras, skimmers, adsorbentes y dispersantes disponibles, los activadores de la combustión del crudo «in situ», los agentes hundidores etc. Además, los medios disponibles para su recogida y las posibilidades de llevar a cabo la misma, los de transporte, almacenaje, tratamiento y eliminación de los residuos así como los medios de intervención accesibles en stock nacionales y extranjeros.

Con buena información, un sistema de gestión de derrames debe diseñar o elaborar rápidamente el plan de emergencia óptimo o al menos el mejor de los posibles teniendo en cuenta los medios disponibles y la urgencia del tratamiento. Para efectuar este diseño, el software debe tener acceso no solo a bancos de datos sino también a modelos de simulación de distinto tipo para efectuar un pronóstico de los posibles efectos del derrame y seleccionar el tipo de medidas más urgentes como: protección de zonas sensibles, evacuación de la población por peligro de inflamación o toxicidad del aire, corte de suministros de agua potable si los acuíferos han resultado afectados, etc.

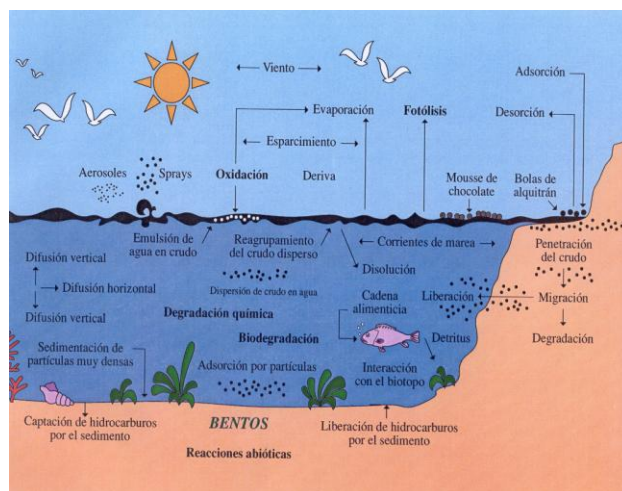
El paso siguiente es la comunicación de la decisión desde el medio informático al exterior para lo cual los sistemas de gestión tienen acceso a un procesador de textos y a un sistema de impresión en el que se indican claramente las distintas posibilidades de actuación para que el equipo responsable de tomar la última decisión sobre este plan de contingencia y de su ejecución, pueda actuar disponiendo del máximo número de datos posible así como de los probables efectos de sus decisiones.

Naturalmente, existen limitaciones en el uso de estos sistemas de gestión debidos por una parte a las limitaciones de hardware y software y por otra, quizá más importante a la práctica imposibilidad de validar rápidamente la información que se introduce en el sistema, y a la posible incompatibilidad entre la información de bancos de datos por el uso, no infrecuente, de diferente nomenclatura entre ellos. A esto hay

que añadir que los propios modelos son en sí mismos reduccionistas por la imposibilidad real de que uno cualquiera de ellos tenga capacidad lógica de decidir sobre las medidas óptimas para cada derrame concreto con todas sus peculiaridades.

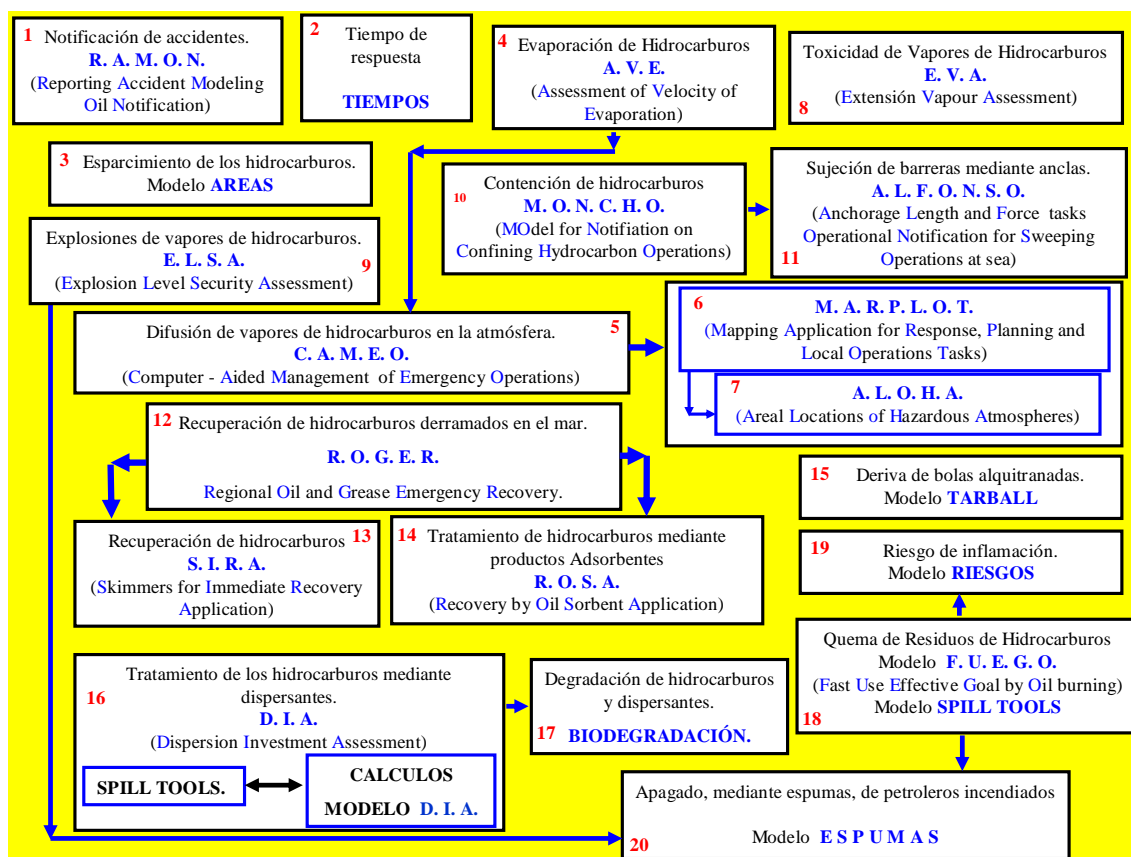
### 3.- MODELO S. O. N. I. A. (Sistema Operacional de Notificación de Impactos Ambientales).

El objetivo del modelo S.O.N.I.A. es el de gestionar, de la forma más rápida y eficiente, todo lo concerniente a un vertido de hidrocarburos en el mar. Consta de una serie de modelos de simulación, que pueden gestionarse de forma independiente, y abarca la notificación de un accidente, la contención mediante barreras, la recuperación de los hidrocarburos derramados mediante skimmers y adsorbentes, el tratamiento con dispersantes y todo lo concerniente a la limpieza y restauración de un entorno costero contaminado por hidrocarburos. El Esquema 1 muestra los principales procesos que ocurren cuando se produce un derrame de hidrocarburos en el mar y susceptibles de ser gestionados por el Modelo SONIA.



Esquema 1. Procesos que transcurren desde que se produce un vertido de hidrocarburos en el mar.

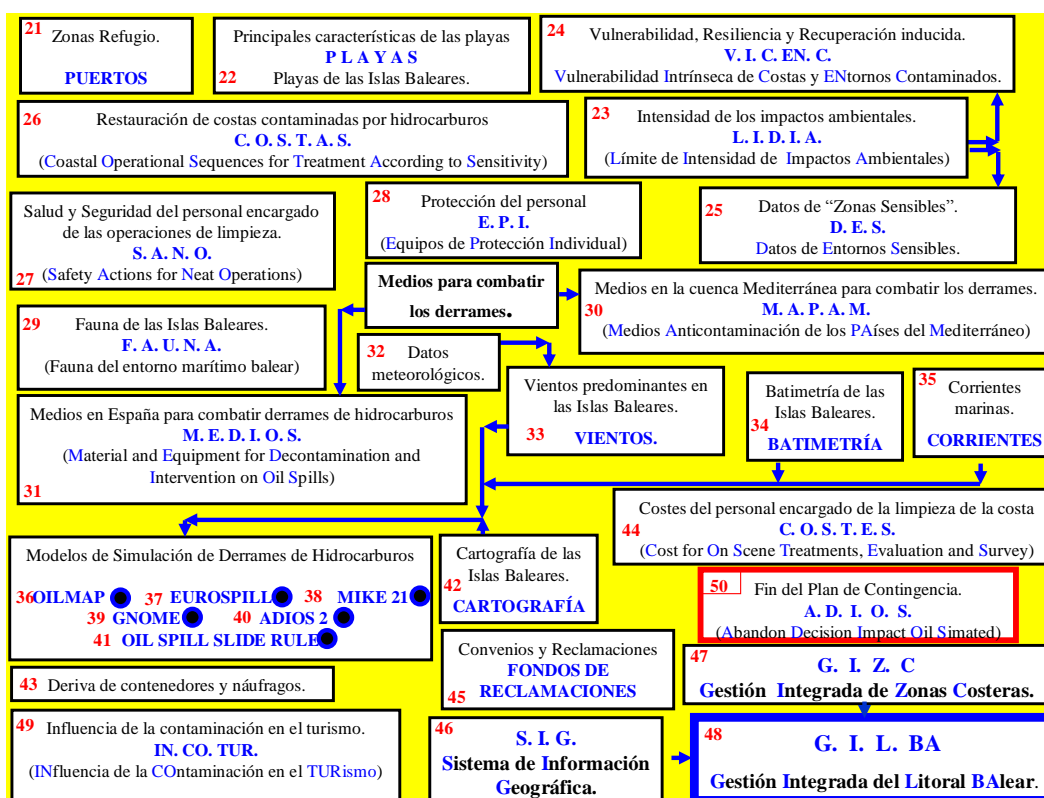
Los modelos que gestiona el S. O. N. I. A. y su organigrama se muestran en los Esquemas 2a y 2b.



Esquema 2a. Primera parte del organigrama del modelo S. O. N. I. A.

Además de los modelos de simulación que gestiona el S. O. N. I. A. el modelo permite acceder a una serie de bancos de datos informatizados y no informatizados sobre: propiedades físicas y químicas de crudos de petróleo y derivados y todas las consideraciones teóricas imprescindibles en los cursos de formación del personal encargado de las labores de limpieza y restauración de entornos costeros contaminados por hidrocarburos.

Igualmente contiene información de una serie de simulacros de accidentes, en las terminales de carga y descarga de hidrocarburos, que pueden originar vertidos de los mismos al mar.



Esquema 2b. Segunda parte del organigrama del moldeo S. O. N. I. A.

Algunos de los principales modelos que gestiona el S. O. N. I. A. son los siguientes:

### 3.1) NOTIFICACIÓN DEL ACCIDENTE. MODELO "R.A.M.O.N." (Reporting Accident Modelling Oil Notification).

Incluye una ficha mediante la cual se puede suministrar, a las autoridades competentes, todos los datos del accidente que originó el vertido de hidrocarburos al mar. Dado que las horas posteriores a un vertido es cuando deben tomarse las decisiones más importantes la notificación rápida de todo lo concerniente al accidente permite ahorrar considerablemente el tiempo de toma de decisiones. El modelo incluye igualmente todo lo concerniente a los modelos POLINF, POLREP y POLWARN.

Además el modelo indica la forma de notificar gráficamente la zona ocupada por el vertido, la zona afectada por los hidrocarburos, las coordenadas en donde se produjo el vertido y en donde se encuentra el buque siniestrado, las de las boyas de señalización del vertido y del tipo de contaminación que ha originado

(irrisaciones, grandes manchas de hidrocarburos, bandas de hidrocarburos, galletas, “mousse de chocolate, etc.).

### 3.2) ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DE RESPUESTA. MODELO “TIEMPOS”.

Permite estimar el tiempo necesario para realizar las primeras observaciones de un derrame, el tiempo necesario para el rescate de las víctimas y el tiempo necesario para el traslado de los medios anticontaminación, desde el lugar en donde se encuentran almacenados, a la zona del derrame. Los inputs y outputs del modelo son los siguientes:

#### Inputs:

- Lugar en donde se ha producido el derrame: mar o tierra.
- Distancia desde el lugar en donde se ha originado el siniestro al lugar en donde hay medios anticontaminación: millas o metros.
- Franja horaria en donde hay que realizar la intervención: orto-ocaso u ocaso-orto.
- Número de personas a rescatar por el helicóptero: máximo cuatro.
- Litros de espumógeno a utilizar.
- Litros de dispersante a utilizar.

#### Outputs:

- Tiempo estimado para realizar las primeras observaciones desde un helicóptero.
- Tiempo estimado para realizar las primeras observaciones desde un avión.
- Tiempo estimado para el rescate de las víctimas mediante un helicóptero.
- Tiempo estimado para el rescate de las víctimas mediante un remolcador avión.
- Tiempo necesario para el suministro de medios anticontaminación existente en las Islas Baleares.
- Tiempo necesario para el suministro de medios anticontaminación disponible por SASEMAR en Madrid.
- Coste estimado del alquiler del helicóptero utilizado.
- Coste estimado del alquiler del avión utilizado.

- Coste estimado del alquiler de un remolcador que lleve barreras de contención y skimmers.
- Coste estimado del alquiler de un remolcador que lleve además de lo anterior sistemas contraincendios.
- Coste del dispersante utilizado.
- Coste del espumógeno utilizado.

La franja horaria en la que se prestan los servicios es doblemente importante. Por un lado los tiempos de respuesta son mayores en la franja ocaso – orto que en la de orto – ocaso y por otro los costes de procesamiento de los residuos en la primera franja horaria suelen ser un 30% superiores a los de la otra franja horaria. El Esquema 3 muestra la pantalla de entrada y de salida de datos para una simulación de un vertido a 100 millas de Palma de Mallorca en donde fue necesario rescatar a cuatro personas accidentadas, en la franja horaria Orto-Ocaso, pulverizar 1.000 litros de espumógeno y 500 de dispersante.

Rescate por Mar

Mar Tierra

Distancia desde el lugar del siniestro al de suministro: 100  Millas  Metros

Número de personas a rescatar: 4  Orto - Ocaso  Ocaso - Orto

En caso de incendio  
Litros espumógeno: 1000  
Litros dispersante: 500

Calcular Ver Costes

Primeras Observaciones  
Realizar las primeras observaciones desde el helicóptero: 60 min  
Realizar las primeras observaciones desde el avión: 60 min

Rescate de víctimas mediante:  
Helicóptero: 100 min  
Remolcador: 675 min

Suministro de medios anticontaminación  
Disponibles en las inmediaciones: 1000 min  
Disponibles en la central de BASENAR: 2720 min

Salir

Esquema 3. Datos de salida de una simulación de un derrame a cien millas de Palma de Mallorca.

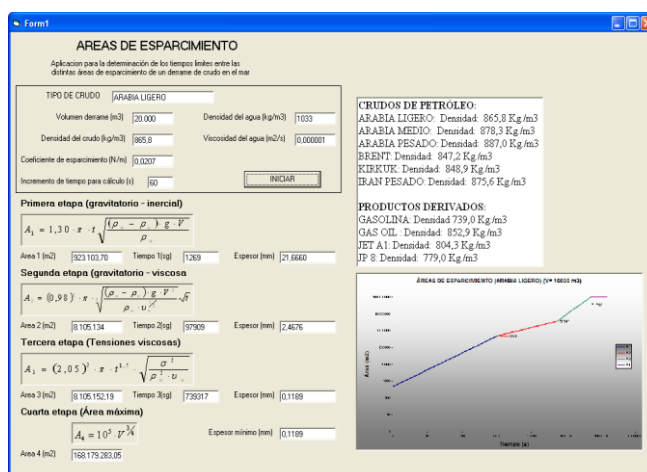
## ESTIMACION DEL COSTE DE RETIRADA Y TRATAMIENTO PREVIO DE LOS HIDROCARBUROS RECUPERADOS DEL MAR (SISTEMA MARPOL). MODELO “MARPOL”.

Permite estimar el coste de la retirada de las mezclas de hidrocarburos y agua de los buques almacén acoplados a los skimmers, y la posterior separación de las fases. El coste de retirada y pretratamiento de un vertido de 20.000 litros de mezclas de

hidrocarburos y agua en la franja de las 7 hasta las 21 horas es de unos 1.336 €uros, mientras que en resto de la franja horaria el coste es de 1.737 €uros.

### 3.3) CÁLCULO DE LAS ÁREAS DE ESPARCIMIENTO DE UNA MEZCLA DE HIDROCARBUROS DERRAMADA EN EL MAR. MODELO “AREAS”.

Permite estimar el área de las distintas fases del esparcimiento, de un volumen concreto de hidrocarburos derramados, el tiempo de consecución de las mismas, el espesor de cada una de ellas y el espesor mínimo del derrame. El Esquema 4 muestra las áreas de esparcimiento, sus tiempos de consecución y el espesor de un derrame de 20.000 m<sup>3</sup> de crudo Arabia Ligero.



Esquema 4. Estimación de las diferentes áreas de esparcimiento, el tiempo de consecución de las mismas y sus espesores respectivos para un derrame de 20 millones de litros de un crudo Arabia Ligero derramado en agua de mar.

### 3.4) CÁLCULO DEL PUNTO DE VERTIDO.

MODELO “VERTIDO”. Algunas mezclas de hidrocarburos, a medida que se van evaporando y a determinadas temperaturas, no tienen tendencia al esparcimiento. El modelo calcula el “Punto de Vertido” definido como la temperatura a la cual una mezcla de hidrocarburos deja de fluir.

Los parámetros de entrada al modelo son: punto de vertido inicial de la mezcla de hidrocarburos (°C), fracción evaporada (%) y una constante.

De no conocerse dicha constante, específica para cada mezcla de hidrocarburos, el modelo toma por defecto el valor de 1,33. Así para una mezcla de hidrocarburos con un punto de vertido de 15 °C sin sufrir un proceso de evaporación incrementa su punto de vertido hasta 21 °C cuando se ha evaporado un 30%.

### 3.5) CÁLCULO DE LA EVAPORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HIDROCARBUROS. MODELO A.V.E (Assessment of Velocity of Evaporation)

Permite estimar la variación de la fracción evaporada, en función del tiempo, de la mayoría de los crudos de petróleo y de sus productos derivados cuando se encuentran derramados sobre agua de mar o sobre arena de playa de diferente granulometría para diferentes velocidades del viento.

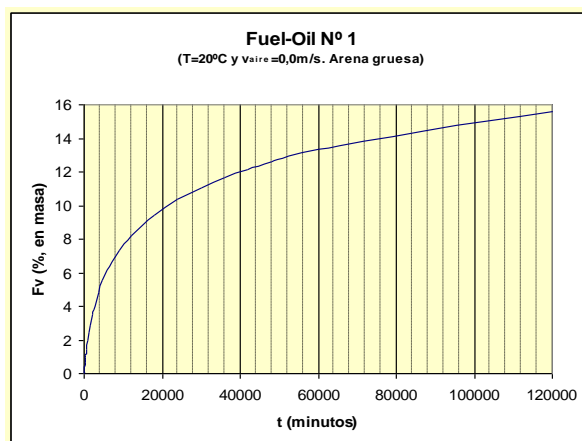
La Tabla 1 muestra las ecuaciones propuestas por estos autores para estimar la variación de la fracción evaporada, en función del tiempo, de un Fuel Oil N° 1 cuando se encuentra derramado sobre arena de playa de tipo medio, normal y grueso, a 15 y 20°C, en ausencia de aireación.

Fuel-Oil nº 1			
Ecuaciones obtenidas de ajustes por Marguardt de la ecuación de Bergueiro y Domínguez			
Tipo de arena	Temperatura del ambiente	Velocidad del aire (m/s)	Ecuación ajustada (*)
Media	15 °C	0,00	$F_v = 3,2818 \cdot \ln(1 + 0,0426t)$
	20°C	0,00	$F_v = 3,5457 \cdot \ln(1 + 0,0392t)$
Normal	15 °C	0,00	$F_v = 3,1911 \cdot \ln(1 + 0,0383t)$
	20°C	0,00	$F_v = 3,2546 \cdot \ln(1 + 0,0494t)$
Gruesa	15 °C	0,00	$F_v = 2,9804 \cdot \ln(1 + 0,0370t)$
	20°C	0,00	$F_v = 3,3370 \cdot \ln(1 + 0,0533t)$

(\*) Tiempo en minutos

Tabla 1. Ecuaciones para calcular la fracción evaporada de un Fuel Oil N° 1 derramado sobre arena de mar tipo medio, normal y grueso a 15 y 20°C en ausencia de aireación.

La Gráfica 1 muestra la variación de la fracción evaporada en función del tiempo para la evaporación de un Fuel Oil N° 1 derramado sobre arena de mar de tipo gruesa ( $1 > D > 0,5$  cm.), en ausencia de aireación.



Gráfica 1. Variación de la fracción evaporada en función del tiempo para la evaporación de un Fuel Oil N° 1 derramado sobre arena gruesa, en ausencia de aireación.

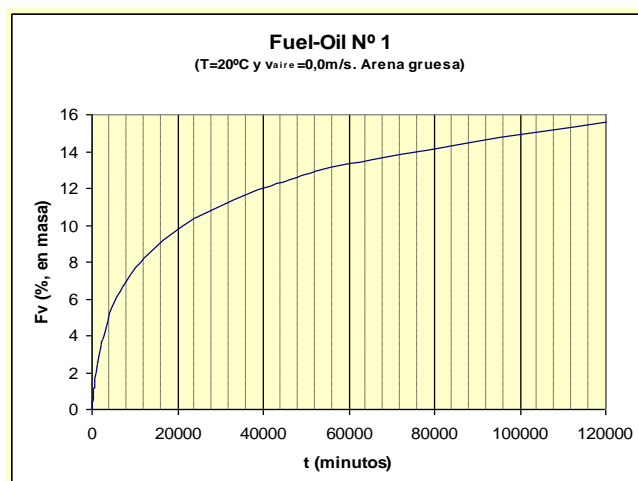
La Tabla 1 muestra las ecuaciones propuestas por estos autores para estimar la variación de la fracción evaporada, en función del tiempo, de un Fuel Oil N° 1 cuando se encuentra derramado sobre arena de playa de tipo medio, normal y grueso, a 15 y 20°C, en ausencia de aireación.

Fuel-Oil nº 1			
Ecuaciones obtenidas de ajustes por Marquardt de la ecuación de Bergueiro y Domínguez			
Tipo de arena	Temperatura del ambiente	Velocidad del aire (m/s)	Ecuación ajustada (*)
Media	15 °C	0,00	$F_{ev} = 3,2818 \cdot t^{0,426}$
	20 °C	0,00	$F_{ev} = 3,5457 \cdot t^{0,392}$
Normal	15 °C	0,00	$F_{ev} = 3,1911 \cdot t^{0,383}$
	20 °C	0,00	$F_{ev} = 3,2546 \cdot t^{0,494}$
Gruesa	15 °C	0,00	$F_{ev} = 2,9004 \cdot t^{0,378}$
	20 °C	0,00	$F_{ev} = 3,3370 \cdot t^{0,533}$

(\*) Tiempo en minutos

Tabla 1. Ecuaciones para calcular la fracción evaporada de un Fuel Oil N° 1 derramado sobre arena de mar tipo medio, normal y grueso a 15 y 20°C en ausencia de aireación.

La Gráfica 1 muestra la variación de la fracción evaporada en función del tiempo para la evaporación de un Fuel Oil N° 1 derramado sobre arena de mar de tipo gruesa ( $1 > D > 0,5$  cm.), en ausencia de aireación.

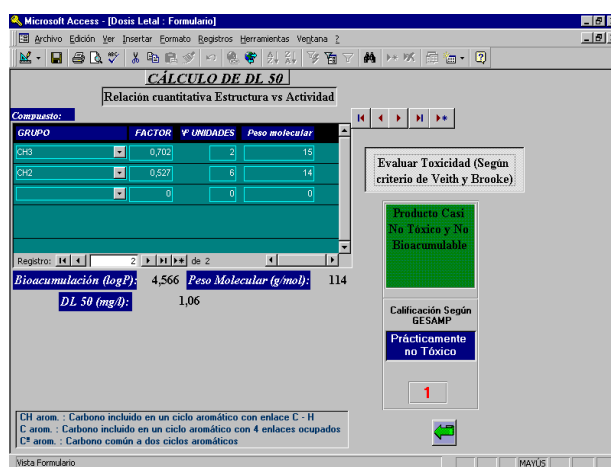


Gráfica 1. Variación de la fracción evaporada en función del tiempo para la evaporación de un Fuel Oil N° 1 derramado sobre arena gruesa, en ausencia de aireación.

### 3.6) TOXICIDAD DE MEZCLAS DE HIDROCARBUROS DISUELTOS EN EL AGUA DE MAR, DE CRUDOS DE PETRÓLEO Y DERIVADOS, DE DISPERSANTES Y DE MEZCLAS DE AMBOS.

#### MODELO E.V.A. (Extensión Vapour Assessment).

Permite estimar la Bioacumulación, la Dosis Letal (DL50) y la Toxicidad, según los criterios de Veith y Brooke, de compuestos puros disueltos en el agua de mar, la toxicidad de crudos de petróleo y derivados, de dispersantes y de mezclas de los mismos. El Esquema 5 muestra los resultados obtenidos para el octano.



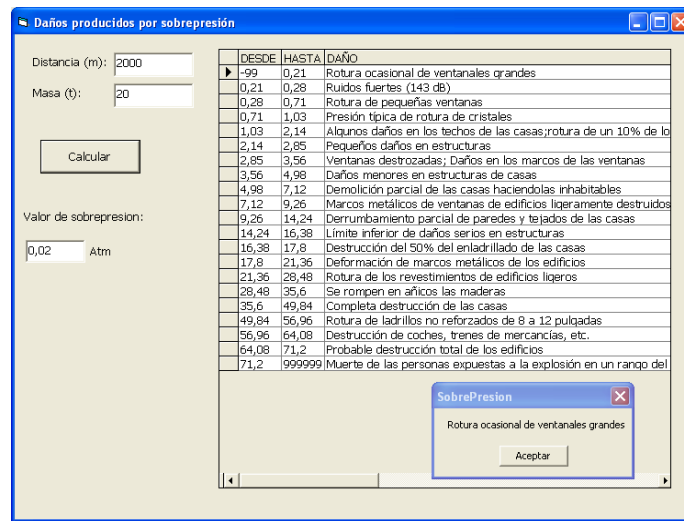
Esquema 5. Estimación de la Bioacumulación, de la Dosis Letal (DL50) y de la toxicidad del octano disuelto en agua de mar.

### 3.7) RIESGO DE EXPLOSIÓN DE MEZCLAS DE HIDROCARBUROS DERRAMADAS EN EL MAR. MODELO “E. L. S. A.” (Explosion Level Security Assessment).

Permite conocer si una determinada mezcla de hidrocarburos derramada en el mar, a una determinada temperatura, puede explotar, en presencia de una fuente de ignición. Las mezclas de hidrocarburos para las que se puede aplicar el modelo son: Gasolinas de automoción de 95, 97 y 98 octanos, Gasolina de aviación 100 LI, Gas oils, queroseno de aviación JET A1 y JP8, Fuel Oil y crudos de petróleo Arabia Ligero, Medio y Pesado.

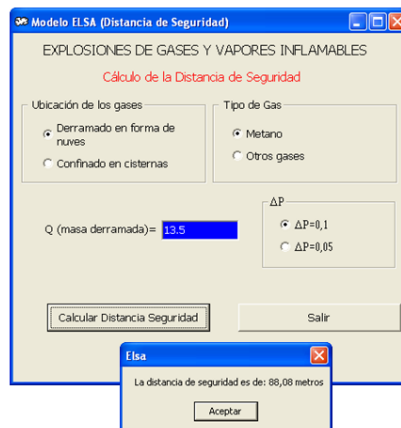
### 3.8) DAÑOS ORIGINADOS POR UNA SOBREPRESIÓN DE UNA EXPLOSIÓN. MODELO “SOBREPRESIÓN”. Permite estimar los daños originados por la sobrepresión que origina una explosión de una determinada cantidad de metano.

El Esquema 6 muestra los daños originados, a una distancia de 2000 metros, por la sobrepresión originada por una explosión de 20 toneladas de metano



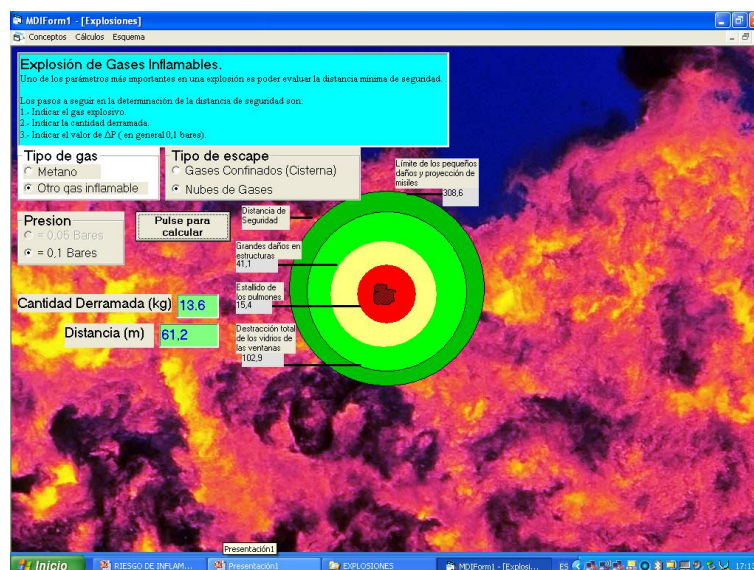
Esquema 6. Daños originados por la sobrepresión, a una distancia de 2.000 metros, de una explosión de 20 toneladas de metano.

Igualmente el modelo permite calcular la distancia de seguridad para explosiones de metano y otros gases, confinados en cisternas o derramados en forma de nubes. El Esquema 7 muestra el cálculo de la distancia de seguridad para una explosión de 13,5 Kg. de metano derramado en forma de nube.



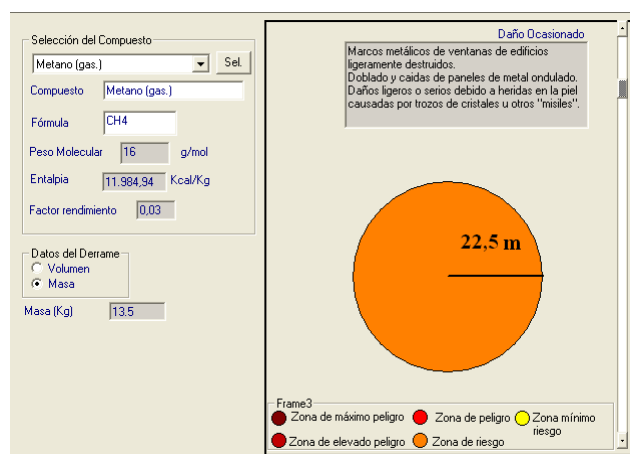
Esquema 7. Cálculo de la distancia de seguridad para una explosión de 13,5 Kg. de metano derramado en forma de nube.

También el modelo permite estimar, para una explosión de 13,6 Kg. de un gas inflamable, que no sea el metano, las distancias hasta la cual se puede originar el estallido de los pulmones de las personas afectadas, a las que se originan grandes daños en las estructuras, la destrucción de los vidrios de las ventanas al igual que la distancia de seguridad (Esquema 8).



Esquema 8. Simulación de una explosión de 13,6 Kg. de un gas inflamable distinto al metano.

Finalmente el modelo permite estimar los daños originados por la explosión de gases derramados. Seleccionado el compuesto derramado el modelo indica su fórmula empírica, su Peso Molecular, su Entalpía de combustión y el Factor de Rendimiento de la explosión. Seguidamente se introduce la cantidad derramada, en masa o en volumen, y desplazando el cursor lateral se puede conocer la distancia de la zona de máximo peligro, la zona de elevado peligro, la zona de peligro, la zona de riesgo y la de mínimo riesgo, además de los daños que la explosión puede originar en cada una de esas zonas (Esquema 9).



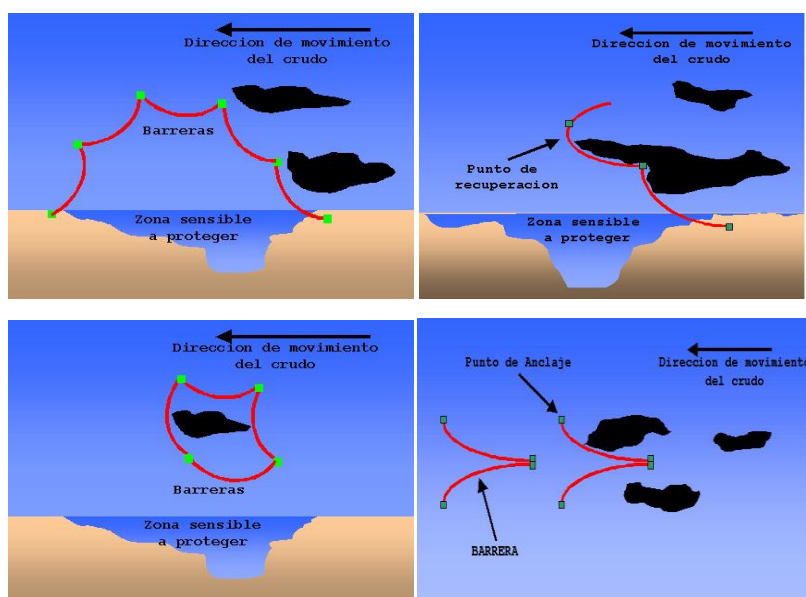
Esquema 9. Daños originados por una explosión de 13,5 Kg. de Metano.

Igualmente el programa permite acceder a una base de datos con consideraciones acerca de las quemaduras de primero, segundo y tercer grado, e información sobre explosiones, detonaciones y deflagraciones.

### 3.9) BARRERAS PARA LA CONTENCIÓN DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN EL MAR. MODELO “M.O.N.C.H.O.” (Model for Notification on Confining Hydrocarbon Operations).

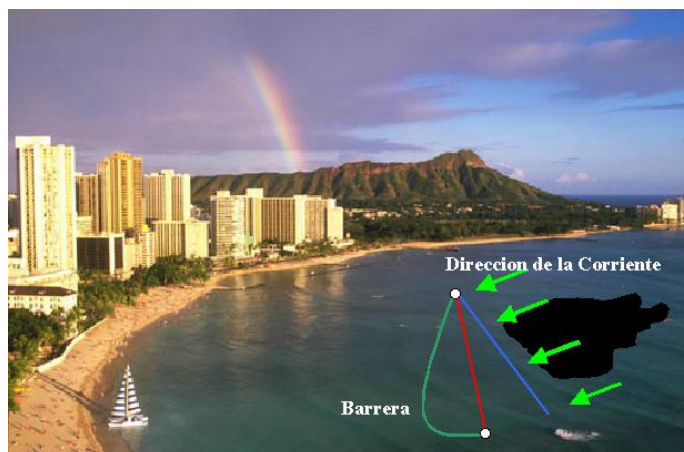
El modelo gestiona todo lo concerniente a las consideraciones teóricas sobre barreras, cercos e interceptadores (Esquema 10). Los puntos que se describen son los siguientes:

- Introducción sobre el uso de las barreras.
- Consideraciones a tener en cuenta.
- Condiciones en su extensión.
- Tipos y esquemas de barreras.
- Tipos de flotadores.
- Elección de barreras.
- Despliegue de barreras: medios necesarios para su despliegue, despliegue desde tierra y despliegue desde embarcaciones.
- Recogida de las barreras.
- Limpieza, restauración y almacenamiento de las barreras.
- Cercos e interceptadores de derrames de hidrocarburos.



Esquema 10. Barreras, cercos e interceptadores para contener derrames de hidrocarburos en el mar.

El Esquema 11 muestra el despliegue de una barrera en forma de J para evitar que por efecto de las olas y la corriente marina los hidrocarburos pasen por encima del francobordo o por debajo del faldón.



Esquema 11. Despliegue de una barrera en forma de J para evitar que los hidrocarburos la sobrepasen por encima del francobordo o por debajo del faldón.

El modelo incluye igualmente una matriz para la selección de las barreras (Tabla 2).

MATRIZ DE SELECCIÓN DE BARRERAS						
Clave: 1.- Bueno 2.- Regular 3.- Pobre		Tipo de Barrera				
		Con flotador de espuma interno	Autoinflable	Inflable	Con elemento de extensión externo	Valla
Condiciones medioambientales	Fuera de la costa con residuos Ao > 1 V < 1 nudo	2	2	1	1	3
	Puerto Ao < 1 m V < 1 nudo	1	1	1	2	2
	Aguas en calma Ao < 30 cm V < 0,5 nudos	1	1	1	2	1
	Aguas turbulentas V > 1 nudo	2	3	2	1	3
	Aguas superficiales P < 30 cm.	1	2	2	3	3
Características funcionales	Comportamiento frente a residuos	1	3	2	3	2
	Flotabilidad excesiva	2	1	1	2	3
	Respuesta a las olas	2	2	1	1	3
	Solidez	2	3	1	1	1
	Facilidad de manejo	2	1	2	3	2
	Facilidad de limpieza	1	1	1	3	1

Características operativas	Facilidad de recuperación	3	1	1	2	3
	Coste /m. I Bajo. II Medio. III Alto		I	III	II	III

Ao: Altura de las olas (m).  
 V: Velocidad de la corriente en la superficie (nudos).  
 P: Profundidad de la capa del agua (cm.).

**Tabla 2. Matriz para la selección de una barrera.**

### 3.10) CÁLCULO DE BARRERAS.

MODELO “**A.L.F.O.N.S.O.**” (Anchorage Length and Force tasks Operational Notification for Sweeping Operations at sea).

Permite calcular los límites del coste de una barrera, del coste del carretel necesario para almacenarla, de la longitud del cabo de ancla y de la boya y la distancia de separación de una doble barrera. El Esquema 12 muestra los cálculos para una barrera de 300 m. de longitud, del coste de su carretel, de la longitud del cabo de ancla y de su boya, para una profundidad de agua de 40 metros y el cálculo de la distancia de separación de una doble barrera, para contener de forma más efectiva los hidrocarburos derramados, cuando se produzcan pérdidas de hidrocarburos por la primera barrera.

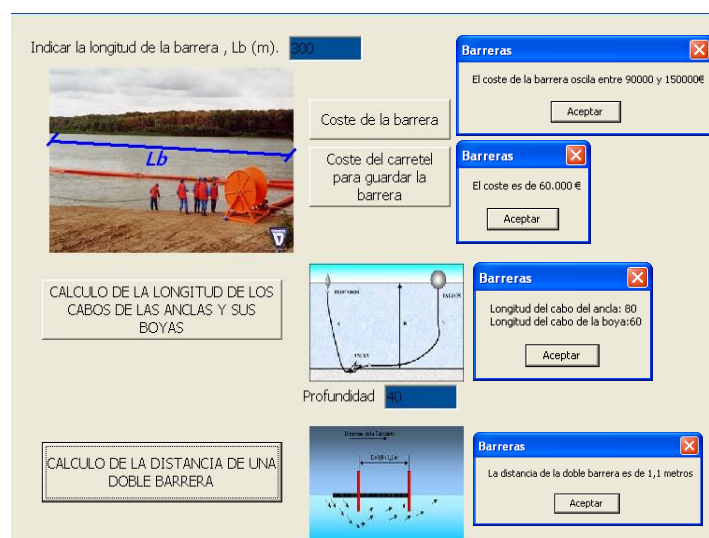
Inputs:

- Longitud de la barrera.
- Profundidad de la capa de agua.
- Eslora y manga del petrolero a proteger.
- Número de skimmers desplegados para recuperar los hidrocarburos.
- Anchura del río o canal a proteger.
- Anchura del puerto a proteger.
- Velocidad de la corriente.
- Longitud de onda de las olas.
- Velocidad de la corriente marina.
- Velocidad del viento.

Outputs:

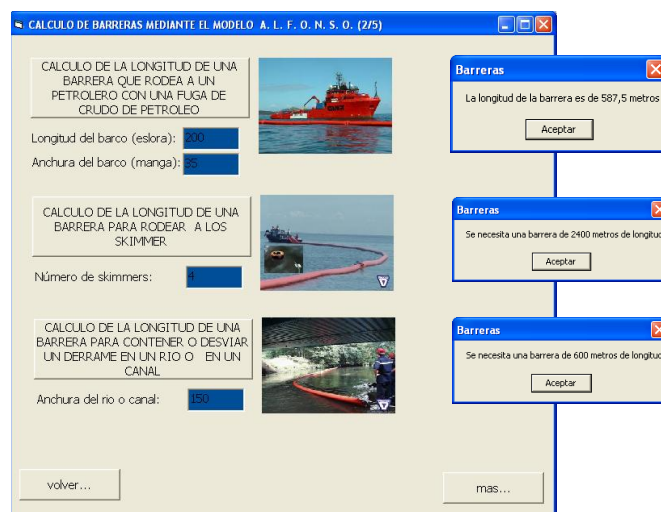
- Coste de la barrera.
- Coste del carretel para guardar la barrera.
- Longitud del cabo de ancla.
- Longitud del cabo de boya.

- Distancia entre dos barreras.
- Longitud total de la barrera necesaria para proteger el petrolero.
- Longitud total de la barrera para rodear los skimmers.
- Tiempo de inflado de la barrera mediante una soplante de tipo convencional.
- Tiempo de inflado de la barrera mediante una soplante tipo mochila.
- Eficiencia de la barrera frente a la longitud de onda de las olas.
- Posibles daños ocasionados por la corriente marina en la barrera.
- Posibles daños ocasionados por el viento en la barrera desplegada.
- Tiempo de recuperación de la barrera, el tiempo de limpieza y el tiempo necesario para el almacenamiento.



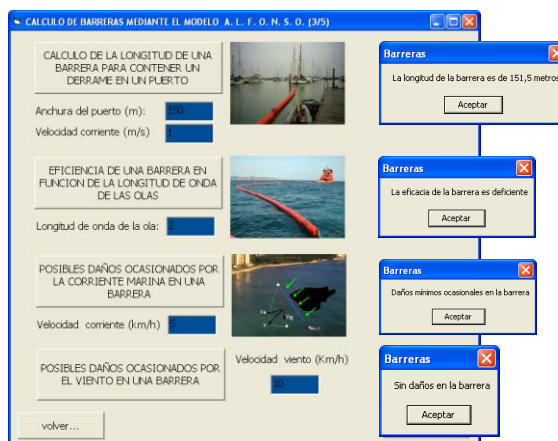
Esquema 12. Estimación del coste de una barrera, de su carretel, de la longitud de los cabos de las anclas y de las boyas señalizadoras y de la separación entre dos barreras.

La estimación de la longitud de la barrera necesaria para rodear un petrolero de 200 m. de eslora, de 35 m. de manga, la longitud de barrera para rodear a 4 skimmers y la longitud de la barrera para contener o desviar un derrame en un río o un canal de 150 metros se muestra en el Esquema 13.



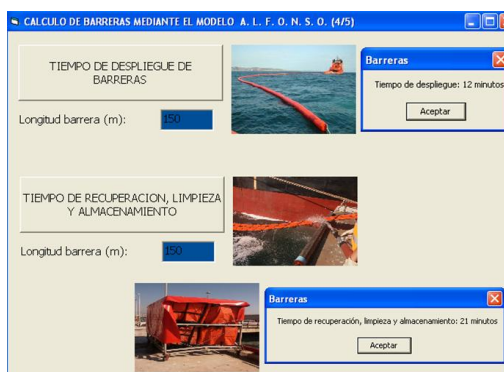
Esquema 13. Cálculo de la longitud de una barrera para proteger un petrolero, para rodear a los skimmers y para contener o desviar un derrame de hidrocarburos en un río o en un canal.

El Esquema 14 muestra los resultados obtenidos para calcular la longitud de una barrera para contener un derrame en un puerto de 150 metros de longitud, bajo el efecto de una corriente marina que se desplaza a una velocidad de 1 m/s. Igualmente muestra la eficiencia de una barrera bajo el efecto de las olas con longitud de onda de 2 metros y los posibles daños que puede originar en una barrera una corriente marina de 10 Km./h.



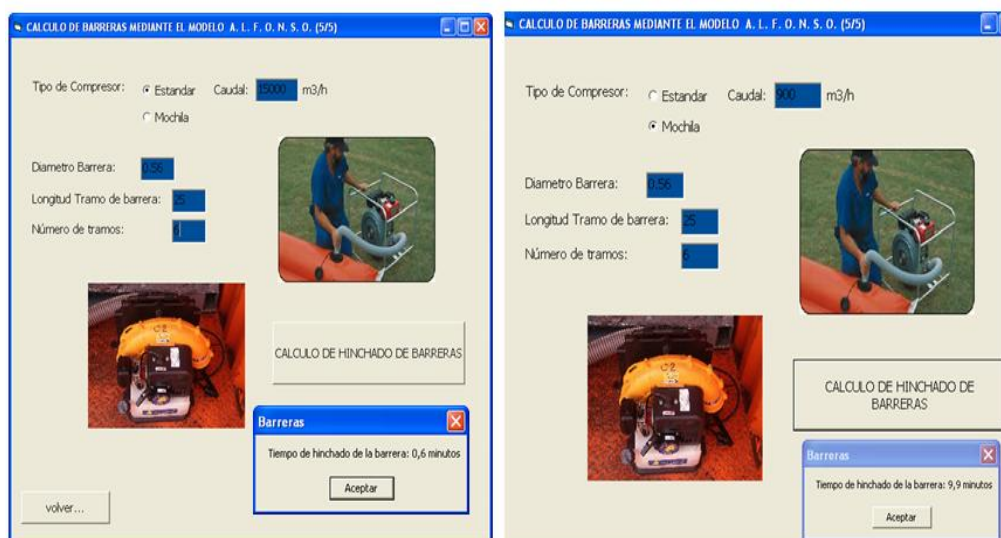
Esquema 14. Cálculo de la longitud de una barrera para contener un derrame en un puerto y la eficiencia de la misma.

El Esquema 15 muestra el cálculo del tiempo necesario para el despliegue de una barrera de 150 metros de longitud y para la recuperación, la limpieza y el almacenamiento de la misma.



Esquema 15. Cálculo del tiempo necesario para el despliegue de una barrera y para la recuperación, la limpieza y el almacenamiento de la misma.

El Esquema 16 muestra los resultados del tiempo de inflado de una barrera, con flotador de aire, mediante una soplante clásica y mediante una pequeña soplante del tipo mochila.



Esquema 16. Cálculo del tiempo de inflado de una barrera mediante una soplante clásica y mediante una soplante tipo mochila.

Igualmente el modelo permite calcular la longitud de una barrera, incluida su curvatura, el ángulo de inclinación de la misma y la fuerza que vientos y corrientes ejercen sobre su faldón y su francobordo. El Esquema 17 muestra el cálculo de la longitud real de una barrera, incluida su curvatura para contener un vertido, su ángulo de inclinación y la fuerza que vientos y corrientes ejercen sobre el faldón y el francobordo. En el caso de no ser suficientes los sistemas de anclaje seleccionados el modelo indica las dimensiones de los bloques de hormigón necesarios para el anclaje correcto de la barrera, e impedir que ésta sea desplazada desde sus puntos de anclaje.

Los inputs del modelo son los siguientes: velocidad máxima de la corriente, longitud de la zona a proteger, velocidad del viento, anchura del faldón, anchura del francobordo, peso de las anclas utilizadas y tipo de terreno en el que se pretenden anclar dichas anclas (cieno, arena o arcilla). Los outputs del modelo son: ángulo de inclinación de la barrera, longitud máxima de barrera necesaria, distancia entre puntos de anclaje, fuerza ejercida por el viento y la corriente sobre la barrera y capacidad de sujeción las anclas.

Input	Value	Output	Value
Velocidad máxima de la corriente (m/s)	1	Ángulo de Colocación	40'
Longitud de la zona a proteger (m)	300	Longitud de la zona a proteger	300m
Velocidad del viento (m/s)	10	Longitud máxima de la barrera necesaria	421.09 m
Faldón (Tramo sumergido (m))	0.5	Distancia entre puntos de anclaje	391.622 m
Francobordo de la barrera (m)	0.5	Velocidad máxima de la corriente	1 m/s
Peso del ancla (Hasta 35 Kg)	Hasta 35 Kg	Velocidad del viento (m/s)	10
Tipo de terreno (Arena)	Arena	Faldón de la barrera (m)	0.5
		Francobordo de la barrera (m)	0.5
		Fuerza Calculada (Kg)	2326
		Capacidad de sujeción (Kg)	700

Debería seleccionar un peso muerto mayor a fin de evitar que se produzca arrastre de la barrera. Se sugiere un bloque de hormigón cúbico de 4.5773 m de lado

Esquema 17. Pantalla de entrada y salida de datos del cálculo de la longitud de una barrera para contener un derrame de hidrocarburos.

### 3.11) RECUPERACIÓN DE HIDROCARBUROS DERRAMADOS EN EL MAR. MODELO R.O.G.E.R. (Regional Oil and Grease Emergency Recovery).

El primer tratamiento de un derrame de hidrocarburos debe consistir en la recuperación de los mismos mediante medios mecánicos. El modelo R.O.G.E.R. incluye las consideraciones teóricas de todo lo concerniente a la recuperación, de los hidrocarburos derramados en el mar, mediante skimmers.

La selección de los sistemas de transferencia de los hidrocarburos puede realizarse mediante el procedimiento mostrado en la matriz representada en la Tabla 3, en función de la viscosidad del tipo de fluido derramado, de la tolerancia del skimmer a

los residuos al igual que de otra serie de criterios como la velocidad de transferencia, la facilidad para operar continuamente o su coste.

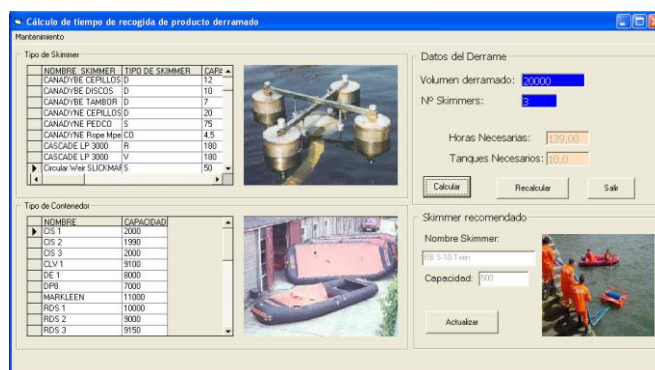
MATRIZ PARA LA SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE HIDROCARBUROS														
Clasificación:  1 El mejor 2 Menos bueno 3 Regular 4 Malo 5 El peor	CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE TRANSFERENCIA													
	Tipo de fluido	Tolerancia a los residuos	Otros criterios											
	Viscosidad alta Viscosidad baja	Sedimento/Arena Grava Algas/fibras	Velocidad de transferencia	Tendencia a emulsionar fluidos	Facilidad de trabajar en seco	Facilidad para operar continuamente	Autocebantes	Cabeza de succión	Presión	Portabilidad	Facilidad de reparación	Coste	Comentarios	
Bombas	Centrífuga	5 1	1 1 4	1	5	1	1	5	4	5	1	1	1	E, J
	De lóbulos	1 4	3 4 3	4	2	3	3	3	3	1	3	3	3	B
	De engranaje	1 4	5 5 2	5	3	4	4	4	4	1	3	4	4	B
	De tornillo engranado	1 4	5 5 3	5	3	5	4	4	4	1	4	4	4	B, J
	Impulsor	3 3	5 5 4	3	3	4	4	4	3	2	2	3	3	---
	Impulsor flexible	2 2	2 4 2	2	3	3	3	1	2	3	2	2	3	F
	Tornillo tipo taladro	1 5	1 1 2	5	1	2	3	5	5	2	3	3	5	A
	Vacío progresivo	1 3	1 3 2	4	1	3	3	1	1	1	4	4	4	B
	Pistón	1 3	3 4 4	4	3	4	3	2	2	1	4	3	3	B, D
Diaphragma	3 2	1 3 3	3	3	1	4	2	2	4	2	1	1	A, C, D	
Sistema de vacío	Convector de aire.	1 1	1 1 2	2	1	1	3	1	1	5	---	5	5	F, G, I
	Camiones de succión	2 1	1 1 2	1	1	1	3	1	2	5	---	5	5	F, G, I
	Bombas portátiles de vacío.	2 1	1 2 3	3	1	1	3	1	3	5	4	4	4	F, G
Convectores	Cinta	1 5	1 1 1	4	1	2	3	1		3	5	3	4	---
	Tornillo	2 5	1 2 2	4	1	3	4	1	--	3	5	4	4	---
Vehículos sobre ruedas		1 1	1 1 1	4	1	---	2		--	---	---	3	3	G, H, I

**Claves de comentarios:**  
A. Normalmente requiere una fuente de energía remota por lo que puede trabajar de forma segura en presencia de fluidos inflamables.  
B. Deben tener una válvula de emergencia en la línea de salida para prevenir la rotura de las mangueras.  
C. Las unidades empujadas por aire tienen a congelarse a temperaturas muy bajas.  
D. Las unidades con válvulas sujetas a la pared con tornillos son difíciles de cebar.  
E. Algunos tipos con fuente de energía remota están diseñados para trabajar en la escotilla de tanques Butterworth  
F. Pueden bombear aire a baja presión  
G. La transferencia se realiza siempre de forma continua.  
H. Los residuos deben de separarse en containers para mejorar la eficiencia.  
I. Transportable con su fuente de energía.  
J. Altas velocidades tienen tendencia a emulsionar las mezclas de crudo y agua.

Tabla 3. Matriz para la selección de los skimmers.

### 3.12) CÁLCULO DE SKIMMERS. MODELO “S.I.R.A.” (Skimmers for Immediate Recovery Application).

Permite calcular el número de horas necesarias para recuperar un vertido concreto y el número de tanques concretos para almacenar las mezclas de agua e hidrocarburos recuperados. Igualmente selecciona el mejor skimmer para efectuar la recuperación en el menor tiempo posible. El Esquema 18 muestra los cálculos para recuperar del mar un derrame de 20.000 litros de hidrocarburos, mediante un skimmer concreto.



Esquema 18. Estimación del tiempo de recuperación de 20.000 litros de hidrocarburos mediante un skimmer SLICKMAR.

Igualmente el modelo permite estimar, de todos los skimmers de la base de datos, cual es el que recupera los hidrocarburos con la mayor velocidad y con la máxima eficacia, el que mejor recupera las mezclas de hidrocarburos más viscosas, el que puede recuperar los hidrocarburos en presencia de pequeños residuos sólidos y el que dispone del mejor sistema de propulsión y almacenamiento.

### 3.13) RECUPERACIÓN DE LOS HIDROCARBUROS DERRAMADOS EN EL MAR MEDIANTE ADSORBENTES.

#### MODELO “R.O.S.A.”. (Recovery by Oil Sorbent Application).

Permite estimar la cantidad y el coste de un adsorbente concreto que es necesario pulverizar sobre un derrame de hidrocarburos para poder recuperarlos de la superficie del mar. Igualmente permite estimar la cantidad y el coste del mejor adsorbente que puede utilizarse para recuperar dicha mezcla de hidrocarburos y el ahorro económico que se obtiene. El Esquema 19 muestra la cantidad de adsorbente que debe aplicarse sobre un derrame de 17.316.000 Kg. de crudo de petróleo Arabia Ligero que ocupa una superficie de 923.000 m<sup>2</sup>, cuando se pulveriza mediante un cañón con un caudal de 300

L/minuto. Igualmente dicho esquema muestra el tiempo necesario para la aplicación del adsorbente, el alcance del cañón a favor del viento, la velocidad de cobertura (m<sup>2</sup>/min.) y el precio del adsorbente. Dichos resultados se comparan con los obtenidos con el mejor adsorbente disponible en la base de datos.

Tipo de Adsorbente	
Nombre	Capacidad
ABSORB II	22,15
ABSORBENT GP Pad	7,52
ABSORBENT W Pad	7,52
ABSORBPAL	62,8
ABSORBPAL VRAC	64,1
ABSORLENE B	31,3
ABSORLENE N	28,6

**Resultados**

Cantidad de Adsorbente a utilizar (Kg)	383549400,00
Tiempo de aplicación (min)	1278498,00
Alcance a favor del viento (m)	10
Velocidad de cobertura (m <sup>2</sup> /min)	0,72
Precio del adsorbente	3451344600

**Mejor adsorbente**

Adsorbente:	MANTAS C364
Cantidad de Adsorbente a utilizar (Kg)	19047600,00
Tiempo de aplicación (min)	63482,00
Alcance a favor del viento (m)	10
Velocidad de cobertura (m <sup>2</sup> /min)	14,54
Precio del adsorbente	171428400

Esquema 19. Estimación de la cantidad de adsorbente (ABSORB II) y su coste para el tratamiento de un derrame de crudo de petróleo Arabia Ligero derramado en el mar.

### 3.14) DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MATERIA. MODELO “CO.TRA.MA”.

Un vez que se ha producido un vertido de hidrocarburos en el mar comienza a producirse la evaporación de las fracciones más volátiles, que se difunden desde la fase líquida a la interfase y posteriormente a través de la interfase a la atmósfera circundante al derrame. El modelo “CO.TRA.MA” permite calcular el coeficiente de transferencia de materia (Kg./h) en función del diámetro del derrame (m), de la velocidad del viento (m/s), del Número de Schmidt (adimensional) y de una constante. La constante de proporcionalidad normalmente utilizada vale 0,0048. De no conocerse el Número de Schmidt el modelo toma por defecto el valor de 2,7 obtenido de forma experimental para la evaporación del Cumeno (Esquema 20).

Esquema 20. Pantalla con entrada y salida de datos del modelo PRO.TRA.MA.

### 3.15) FORMACIÓN DE BOLAS ALQUITRANADAS.

#### MODELO “BOLAS ALQUITRANADAS”.

Permite estimar la densidad de una bola de alquitrán en función de los porcentajes de arena, de materia orgánica, de las densidades de la mezcla de hidrocarburos y del otro tipo de materia orgánica que acompaña a los hidrocarburos, al igual que del grado de envejecimiento. El programa calcula la densidad de la bola alquitranada y lo compara con la densidad del agua del mar indicando si dicha bola se puede hundir, puede flotar o quedar a dos aguas, desplazándose entonces en función de las corrientes marinas. El Esquema 21 muestra los resultados obtenidos para una simulación de una bola de alquitrán formada por un 20 % de arena de playa y un 40 % de materia orgánica, con unas densidades de la mezclas de hidrocarburos y de la materia otra materia orgánica que acompaña a los hidrocarburos de 800 y de 900 Kg./m<sup>3</sup> respectivamente y de un grado de envejecimiento del 10%.

Esquema 21. Determinación de la densidad de una bola alquitranada formada por un 20% de arena, y del 40% de materia orgánica.

### 3.16) TRATAMIENTO DE HIDROCARBUROS MEDIANTE DISPERSANTES.

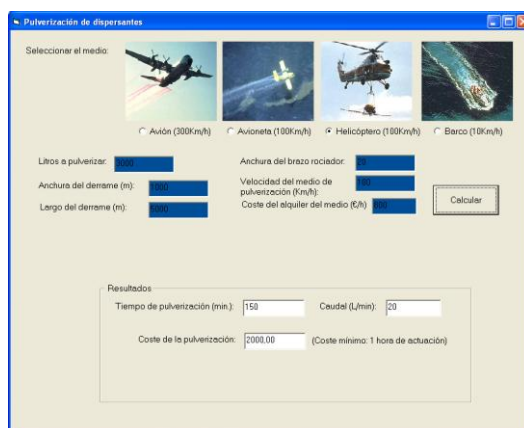
#### MODELO D.I.A. (Dispersion Investment Assessment).

Permite estimar la cantidad óptima de dispersante a utilizar para el tratamiento de un vertido de hidrocarburos derramado en el mar, con un determinado grado de envejecimiento. Los parámetros de entrada al modelo son: Tipo de hidrocarburos derramados, viscosidad, cantidad derramada, grado de envejecimiento y dispersante a pulverizar. Los parámetros de salida del modelo son: cantidad de dispersante a utilizar y coste del mismo. Dichas cantidades se comparan con las del mejor dispersante de los registrados en la base de datos. Los resultados del tratamiento de 20.000 toneladas de un crudo de petróleo de viscosidad 6 mPa.s, envejecido un 10% se muestran en el Esquema 22.

Grado de evaporación	5%	10%	15%	20%	25%
Relación de eficacia crudo/dispersante	25:1	20:1	15:1	13:1	5:1

Esquema 22. Cálculo de la cantidad de dispersante a utilizar para el tratamiento de 20.000 toneladas de un crudo de petróleo Arabia Ligero, que se ha evaporado un 10%.

El modelo permite igualmente calcular el tiempo y el caudal de pulverización, al igual que el coste de la operación. Los parámetros de entrada al modelo son: litros de dispersante a pulverizar, anchura del derrame (m), largo del derrame (m), anchura del brazo rociador (m), velocidad media del medio utilizado para la pulverización (grandes aviones, pequeños aviones, helicópteros y remolcadores) y el coste del alquiler de dicho medio (€/h). El Esquema 23 muestra los cálculos para la pulverización de 3.000 litros de dispersante desde un helicóptero sobre un derrame de 1000 metros de anchura y 5000 metros de longitud, utilizando un helicóptero provisto de un brazo rociador de 20 metros de ancho.



Esquema 23. Estimación del tiempo de pulverización de 3000 litros de dispersante, del caudal de pulverización y de su coste.

Seguidamente el modelo permite estimar la adecuación o no de pulverizar dispersantes en una determinada zona marina en función de la distancia a la costa y de la profundidad de la capa de agua. Dichas estimaciones se pueden hacer para dos entornos, para el Mar Mediterráneo y para el Océano Atlántico. También el modelo permite estimar la variación de la concentración de la mezcla de hidrocarburos dispersados y la del dispersante en la columna de agua. Los Esquemas 24 y 25 muestran la distribución de la mezcla de hidrocarburos y del dispersante en la columna de agua para un vertido de 20000 Kg. de crudo de petróleo envejecido un 10%, sobre el que se han pulverizado 2857 Kg. de dispersante.



Esquema 24. Distribución en la columna de agua de 2000 Kg. de crudo de petróleo.



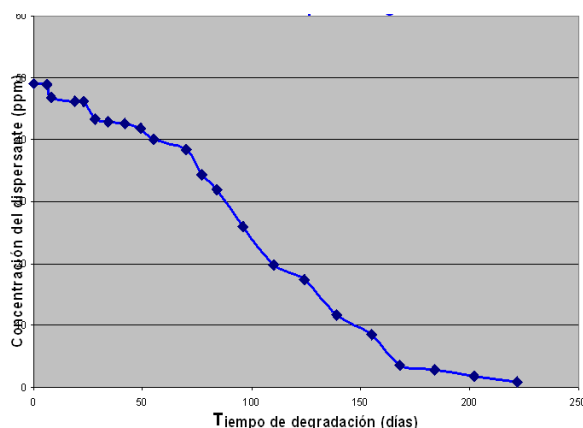
Esquema 25. Distribución en la columna de agua de 2857 Kg. de dispersante.

En el caso de no aplicarse dispersantes, o éstos no ser efectivos, las gotas que puedan dispersarse por efecto de la energía de mezcla que puedan suministrarle las olas tienen tendencia a reunirse entre sí y ascender a la superficie. El MODELO GOTAS permite estimar la velocidad de ascensión de las gotas de crudo. Los parámetros de entrada al modelo son: diámetro de las gotas del hidrocarburo (m), densidad de la mezcla de hidrocarburos (Kg./m<sup>3</sup>), densidad del agua del mar (Kg./m<sup>3</sup>) y viscosidad del agua del mar (m<sup>2</sup>/s). El parámetro de salida del modelo es la velocidad de ascensión de las gotas de hidrocarburo (m/s). Una vez que se ha originado el derrame ocurren una serie de procesos haciendo variar con el tiempo las propiedades de la mezcla de hidrocarburos derramada. El MODELO VISCOSIDAD permite estimar variación de la viscosidad de una mezcla de hidrocarburos con la fracción evaporada. Los parámetros de entrada al modelo son la viscosidad inicial de la mezcla de hidrocarburos (cP) y la fracción evaporada (%). Algunas veces cuando se han derramado mezclas de hidrocarburos altamente envejecidas, debido a la agitación de las olas se pueden formar emulsiones de agua en hidrocarburos, conocidas como “mousse de chocolate”. La viscosidad de dichas emulsiones (cP) puede estimarse mediante el MODELO EMULSIONES. Los parámetros de entrada al modelo son la viscosidad inicial de la mezcla de hidrocarburos (cP), del contenido en agua de la emulsión (fracción másica) y de una constante de emulsificación. De no conocerse dicha constante el modelo toma por defecto el valor de 0,654. Igualmente el modelo permite estimar la densidad de la emulsión formada (Kg./m<sup>3</sup>) en función del contenido en agua de la emulsión (%), de la densidad del agua del mar (Kg./m<sup>3</sup>) y de la densidad de la mezcla de hidrocarburos (Kg./m<sup>3</sup>).

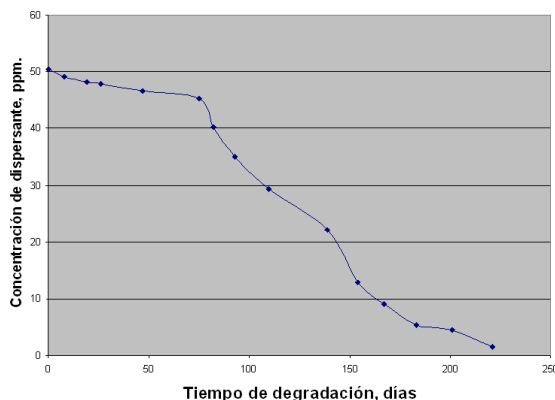
### 3.17) BIODEGRADACIÓN DE CRUDOS DE PETRÓLEO Y DISPERSANTES. MODELO “**BIODEGRADACIÓN**”.

Permite estimar la eliminación, mediante un proceso de degradación bacteriana, de crudos de petróleo dispersos en el agua de mar, de dispersantes y de mezclas de ambos. Dado que en muchos entornos marinos hay déficit de nutrientes el modelo contempla el efecto del acelerador de la biodegradación INIPOL EAP 22 en el proceso de la biodegradación. Como consorcio bacteriano se ha utilizado el PUTIDOIL, tanto con nutrientes como sin nutrientes. Igualmente se ha estudiado el efecto de zeolitas y de arena de playa en el proceso degradativo. Las degradaciones se han efectuado en

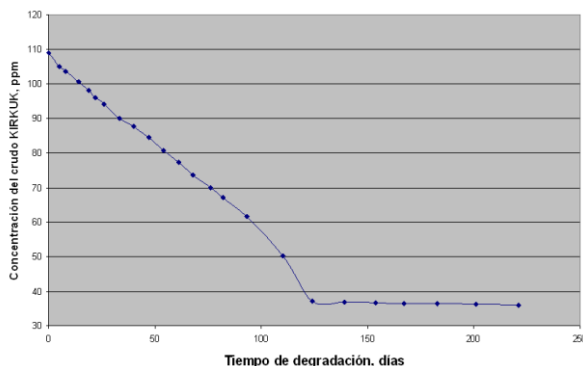
reactores cilíndricos termostatzados provistos de agitación por hélice, en reactores con agitación magnética y reactores con simulación de olas. Las gráficas 8 a 11 muestran la variación de la concentración con respecto al tiempo del dispersante Rehenes 714, la del dispersante RENEX 714 en presencia de crudo de petróleo tipo KIRKUK, la del crudo de petróleo KIRKLUK en presencia del dispersante RENEX 714 y la del crudo de petróleo tipo KIRKUK en ausencia del dispersante RENEX 714.



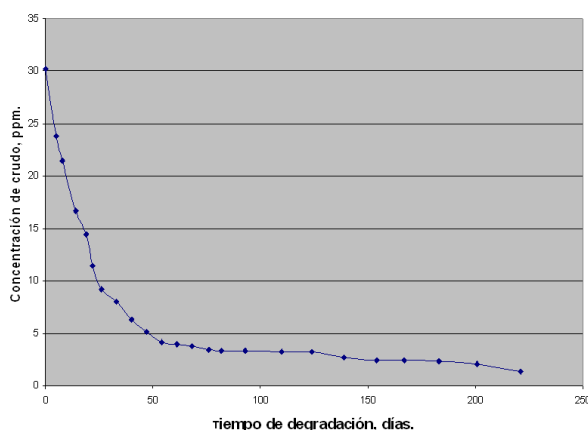
Gráfica 2. Variación de la concentración del dispersante Rehenes 714, en función del tiempo de degradación.



Gráfica 3. Variación de la concentración del dispersante Rehenes 714, en presencia de crudo de petróleo tipo KIRKUK, frente al tiempo.



Gráfica 4. Variación de la concentración de crudo de petróleo tipo KIRKUK en presencia del dispersante RENEX 714.



Gráfica 5. Variación de la concentración de crudo de petróleo tipo KIRKUK en ausencia del dispersante RENEX 714.

### 3.18) QUEMA DE HIDROCARBUROS ALTAMENTE ENVEJECIDOS DERRAMADOS EN EL MAR.

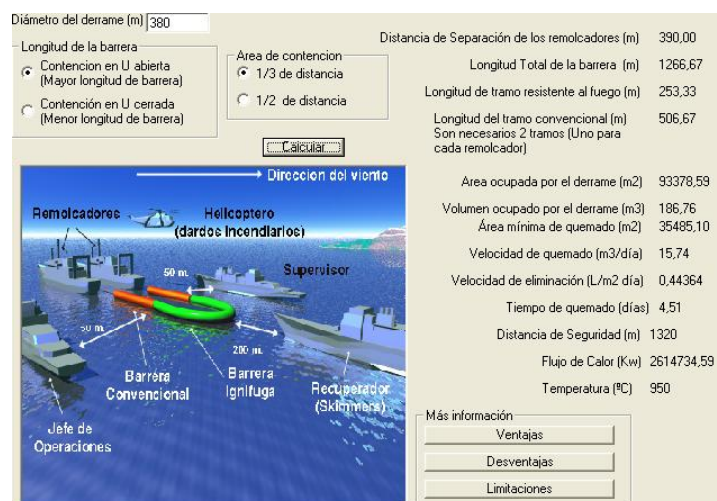
#### MODELO F. U. E. G. O. (Fast Use Effective Goal by Oil burning).

Permite estimar la velocidad de quemado de una mezcla de hidrocarburos altamente envejecida. Los parámetros de entrada al modelo son: diámetro del derrame, tipo de contención U abierta o U cerrada y relación del tramo ignífugo a la longitud total de la barrera.

Los parámetros de salida del modelo son: distancia de separación entre los remolcadores, longitud total de la barrera, desglosada en los dos tramos convencionales y el tramo resistente al fuego, área ocupada por el derrame, volumen ocupado por el derrame, área mínima de quemado, velocidad de quemado, velocidad de eliminación, tiempo de quemado, distancia de seguridad, flujo de calor y temperatura de los gases formados.

El Esquema 26 muestra los resultados obtenidos para el quemado de una mezcla de hidrocarburos envejecidos de 380 metros de diámetro. Para efectuar el quemado primeramente se pulveriza sobre el derrame gasolina gelificada, para evitar que rápidamente se evapore.

Seguidamente se le aplican dardos incendiarios para iniciar el quemado de dichos residuos de hidrocarburos. De datos experimentales se sabe que la anchura máxima del derrame es de 380 metros y el espesor mínimo de 2 mm.



Esquema 26. Resultados de la simulación del quemado de una mezcla de hidrocarburos muy envejecida de 380 metros de diámetro.

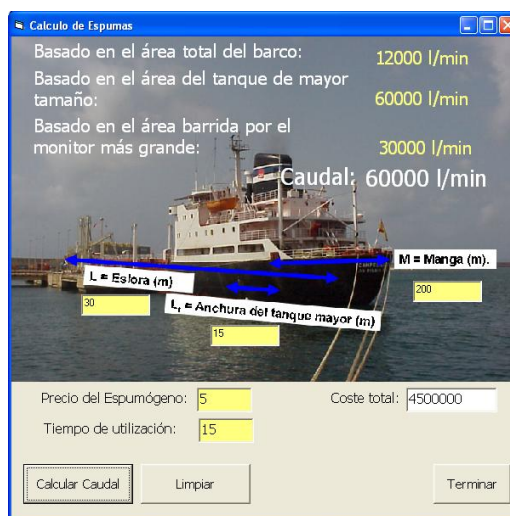
El programa permite igualmente consultar las ventajas, las desventajas y las limitaciones de este procedimiento de eliminación de hidrocarburos derramados en el mar altamente envejecidos.

### 3.19) APAGADO DE PEQUEÑOS PETROLEROS INCENDIADOS MEDIANTE ESPUMAS. MODELO “ESPUMAS”.

Permite calcular el caudal de espuma necesario para el apagado de un petrolero incendiado. Los parámetros de entrada al modelo son: eslora y manga del petrolero, anchura del tanque mayor, precio del espumógeno y tiempo de aplicación. Los parámetros de salida del modelo son: caudal de espumógeno a pulverizar basado en el área total del barco, en el área del tanque de mayor tamaño y el del área barrida por el monitor más grande.

El modelo propone como caudal de espumógeno el mayor de los resultados anteriores y el coste total de la operación.

El Esquema 27 muestra los resultados obtenidos para una simulación de un petrolero de 200 m. de eslora, 30 m. de manga, 15 metros de anchura del tanque mayor, un tiempo de aplicación de 15 minutos y un precio del espumógeno de 5 €/litro.



Esquema 27. Resultados de la simulación del apagado con espumógeno de un petrolero incendiado de 200 m. de eslora, 30 m. de manga y 15 metros de anchura del tanque de mayor tamaño.

### 3.20) CARTOGRAFÍA DE LAS ISLAS BALEARES.

MODELO “**CARTOGRAFÍA**”. El modelo permite acceder a las principales cartas náuticas de las Islas Baleares y de su entorno. Mediante dichas cartas se pueden obtener una serie de datos necesarios para efectuar las simulaciones del desplazamiento de los hidrocarburos en el mar.

### 3.21) ESTIMACIÓN DE LOS COSTES DE LIMPIEZA Y RESTAURACIÓN DE UN ENTORNO COSTERO CONTAMINADO POR UN VERTIDO DE HIDROCARBUROS.

MODELO **C. O. S. T. E. S.** (Cost for **O**n Scene **T**reatments, **E**valuation and **S**urvey).

Permite efectuar una primera estimación de los costes de limpieza y restauración de un entorno costero contaminado por un vertido de hidrocarburos.

Los parámetros de entrada al modelo son la cantidad derramada (toneladas) y el salario medio de los empleados (Euros/día).

Los parámetros de salida del modelo son el tiempo estimado de limpieza, el número de empleados necesarios y el coste de los salarios de dichos empleados.

Una segunda parte del modelo permite estimar el coste total desglosado en gastos de salarios, gastos de dietas, gastos de hospedaje, gastos de transporte, gastos de los EPI (equipos de protección individual) y el coste total.

El Esquema 28 muestra los gastos totales del personal encargado de la limpieza y restauración de un entorno costero de las Islas Baleares contaminado por un vertido de 5000 toneladas de Fuel Oil BIA.

Id <input type="text"/> Zona afectada <b>Bahía de Alcudia</b>		Fecha <input type="text"/> 14/02/2007
Identificación del estudio de gastos <input type="text"/> Costes del personal		Contaminante <input type="text"/> FUEL OIL BIA
<b>Datos necesarios para el estudio (introducir)</b>		
Toneladas vertidas <input type="text"/> 5000	<i>Operarios, encargados y supervisores</i>	
<i>Salarios brutos</i>	Dieta completa <input type="text"/> 25,00 € N° <input type="text"/> 100	<b>DATOS OBTENIDOS</b>
Operarios <input type="text"/> 850,00 €	Media dieta <input type="text"/> 12,00 € N° <input type="text"/> 1240,58	
Encargados <input type="text"/> 1.105,00 €	Hospedaje <input type="text"/> 60,00 € N° <input type="text"/> 100	
Supervisores <input type="text"/> 1.436,50 €	Transporte en la isla <input type="text"/> 15,00 € N° <input type="text"/> 80	
Especialistas <input type="text"/> 1.867,45 €	Traslados fuera de la isla <input type="text"/> 150,00 € N° <input type="text"/> 100	
<i>Salarios brutos estimados</i>	<i>Especialistas</i>	
En el caso de no conocer los salarios brutos para los puestos diferentes a los operarios, hacer uso de los valores estimados. Indicar estos valores en las casillas correspondientes superiores.	Número especialistas <input type="text"/> 10	Días de actuación <input type="text"/> 40
Encargados (estimado) <input type="text"/> 1.105,00 €	Dieta completa <input type="text"/> 30,00 € N° <input type="text"/> 10	Personal necesario (exceptuando especialistas) <input type="text"/> 1.341
Supervisores (estimado) <input type="text"/> 1.436,50 €	Media dieta <input type="text"/> 15,00 € N° <input type="text"/> 0	N° operarios <input type="text"/> 1.274
Especialistas (estimado) <input type="text"/> 1.867,45 €	Hospedaje <input type="text"/> 60,00 € N° <input type="text"/> 10	N° encargados <input type="text"/> 64
Coste equipamiento básico de protección individual <input type="text"/> 150,00 €	Transporte en la isla <input type="text"/> 15,00 € N° <input type="text"/> 8	N° supervisores <input type="text"/> 3
	Traslados fuera de la isla <input type="text"/> 150,00 € N° <input type="text"/> 10	
	Estancia media (días) <input type="text"/> 10	
<b>CONSIDERACIONES IMPORTANTES</b>		
A. Los valores correspondientes a salarios brutos son mensuales.		
B. Los valores referidos a dieta completa, media dieta, hospedaje y transporte en la isla se refiere a coste diario.		
C. Los valores de traslados fuera de la isla corresponde a trayectos de ida y vuelta.		
		<b>Gastos por Categoría</b>
		<b>Especialistas</b>
		Gasto salarios <input type="text"/> 6.224,83 €
		Gasto dietas <input type="text"/> 3.000,00 €
		Gasto hospedaje <input type="text"/> 6.000,00 €
		Gasto transporte <input type="text"/> 2.700,00 €
		Gasto total <input type="text"/> 17.924,83 €
		<b>Personal</b>
		Gasto salarios <input type="text"/> 1.544.511,44 €
		Gasto dietas <input type="text"/> 695.891,22 €
		Gasto hospedaje <input type="text"/> 240.142,46 €
		Gasto transporte <input type="text"/> 63.028,49 €
		Gasto total <input type="text"/> 2.543.573,61 €
		<b>Total</b>
		Gasto salarios <input type="text"/> 1.550.736 €
		Gasto dietas <input type="text"/> 698.891 €
		Gasto hospedaje <input type="text"/> 246.142 €
		Gasto transporte <input type="text"/> 65.728 €
		Gasto EPI's <input type="text"/> 202.587 €
		Gasto total <input type="text"/> 2.764.085 €

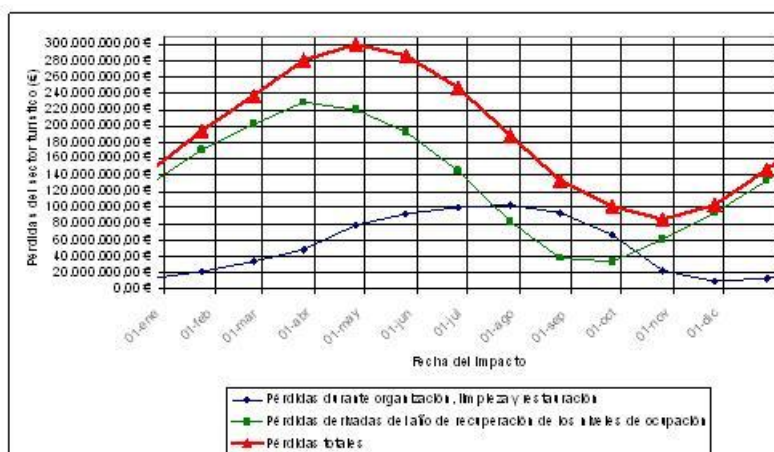
Esquema 28. Gasto total del personal encargado de la limpieza y restauración de un entorno costero contaminado por un vertido de 5000 toneladas de un Fuel Oil BIA.

El modelo compara los resultados obtenidos con los suministrados por el modelo de la Texas A & M University.

### 3.22) ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS ORIGINADAS POR UN DERRAME DE HIDROCARBUROS EN EL SECTOR TURÍSTICO.

#### MODELO IN.CO.TUR. (INfluencia de la COntaminación en el TURismo).

Permite estimar las pérdidas que en el sector turístico puede originar una determinada cantidad y tipo de hidrocarburos derramados, dependiendo de la época del año en que se ha producido el vertido. La Gráfica 16 muestra las pérdidas en el sector turístico de Palma de Mallorca originadas por un derrame de 500 toneladas de fuel oil en función de la fecha del impacto.



Gráfica 6. Pérdidas en el sector turístico de Palma de Mallorca originadas por un derrame de 500 toneladas de fuel oil en función de la fecha del impacto.

### 3.23) FONDOS DE COMPENSACIÓN POR VERTIDOS DE HODRCARBUIROS EN EL MAR. MODELO “FONDOS”.

El modelo permite acceder a toda la información de los Fondos Internacionales de Indemnización y Daños debidos a la Contaminación del mar por Hidrocarburos (FIDAC). Las tres organizaciones que forman el FIDAC tienen una secretaría común con sede en Londres. El propietario de un petrolero está obligado a cubrir todas las indemnizaciones, hasta un determinado límite, que pueda originar un vertido de hidrocarburos. Si esa suma no cubre todas las reclamaciones admisibles existe una indemnización complementaria que cubre el FIDAC de 1992 siempre y cuando los daños se produjesen en un Estado que sea miembro de dicho fondo. Existían tres FIDAC. El primero corresponde al Fondo de 1971, el segundo al Fondo de 1992 y el tercero al Fondo Complementario. Estos tres fondos fueron establecidos en los años 1971; 1992 y en el 2005. El Fondo Complementario se estableció para poder complementar la indemnización disponible en virtud de los Convenios de Responsabilidad Civil y del Fondo de 1992 con un tercer nivel de indemnización adicional. Debido a una serie de problemas el Convenio del Fondo de 1971 dejó de estar en vigor el 24 de mayo de 2002. Por lo tanto ya no tiene más Estados Miembros pero sigue tramitando todos los siniestros que se produjeron en los Estados Miembros del Fondo antes de esa fecha. La afiliación al Fondo Complementario es optativa y cualquier Estado que sea Miembro del Fondo de 1992 puede afiliarse.

Los FONDOS FIDAC se financian mediante recaudaciones sobre determinados tipos de hidrocarburos transportados por mar. Dichas recaudaciones las pagan generalmente las entidades que reciben hidrocarburos transportados por mar.

Cualquier persona o institución que haya sufrido daños originados por un vertido de hidrocarburos puede cursar una reclamación de indemnización contra los FIDAC. El modelo FONDOS permite acceder a toda la información referente a los tipos de reclamaciones que se pueden solicitar (manual de reclamaciones), a las Notas Explicativas Generales, al Informe Anual del FIDAC y la forma de poder acceder al manual de reclamaciones.

### 3.24) FIN DEL PLAN DE CONTINGENCIA.

#### MODELO “A. D. I. O. S.” (Abandon Decision Impact Oil Simulated).

Antes de dar por finalizado un Plan de Contingencia, diseñado para la limpieza y restauración de una costa contaminada por hidrocarburos, es necesario efectuar una serie de estimaciones, con el objetivo de comprobar el grado de exactitud de todas las decisiones tomadas.

Lo primero que se recomienda efectuar, una vez que se pretende concluir las actuaciones, es una inspección visual minuciosa cuyo objetivo es el de comprobar si en la zona costera afectada por los hidrocarburos quedan aún pequeños residuos de éstos depositados en el medio. En caso afirmativo se estudiará la posibilidad de poder recuperarlos de la forma más eficiente.

En el caso de que no sea posible efectuar su recuperación se decidirá que tipo de tratamiento se aconseja efectuar y se indicará mediante carteles, colocados en lugares bien visibles, que dicha zona está levemente contaminada por hidrocarburos y los peligros asociados que ello conlleva. Igualmente es necesario comprobar si existen residuos de hidrocarburos volátiles en el aire y en el agua circundante a la zona afectada. Si el estudio de los análisis efectuados indicara presencia de hidrocarburos sería necesario determinar la Dosis Letal para el hombre y para la flora y fauna y decidir si dicha zona deberá cerrarse al público. En el caso detectarse hidrocarburos en el aire será necesario conocer si la concentración es inferior o superior al Límite Inferior de Explosionabilidad (L. I. E.). Si dicha concentración es superior al L. I. E. será necesario evacuar a todo el personal de dicha zona y prohibir la entrada hasta que la concentración de hidrocarburos sea inferior al L. I. E. lo que suele suceder en un periodo de tiempo

relativamente corto, principalmente en zonas costeras afectadas con vientos o brisas marinas.

Si se disponen de modelos de simulación se puede estimar el tiempo necesario para que una determinada concentración de hidrocarburos disminuya por debajo del L. I. E. al igual que el desplazamiento probable de dichos gases en función de la intensidad de los vientos reinantes.

Lo adecuado es instalar en la zona afectada explosímetros que den información puntual de la concentración de hidrocarburos en la atmósfera.

Seguidamente se comprobará si todos los utensilios que se ha utilizado en las labores de limpieza y restauración han quedado completamente limpios. Si hubo roturas o desperfectos debe procederse a su completa restauración antes de proceder a su almacenamiento.

De entre el material que será necesario comprobar que se encuentra en perfecto estado de uso podemos destacar los trajes de protección del personal, incluidas las mascarillas, las palas, cubos, rastrillos y horquillas, las barreras de contención y sus carretes, los Skimmers y las bombas de succión, los containeres utilizados para el almacenamiento temporal de los materiales oleosos recuperados, los camiones cisternas, los buldózers y las palas excavadoras.

Antes de efectuar el almacenamiento de los trajes de protección del personal, de las mascarillas, de los rastrillos y de las horquillas, de las barreras de contención y sus carretes y de los skimmers es necesario que además de limpios se encuentren perfectamente secos. Su almacenamiento se efectuará en lugares secos y ventilados, fuera del alcance de insectos y roedores que pudieran causar el deterioro de alguna de sus partes, principalmente en las barreras de contención. Si fue necesario efectuar un almacenamiento temporal, de los residuos conteniendo hidrocarburos, en lugares próximos a la zona afectada es necesario comprobar la estanqueidad de los mismos, para evitar fugas de hidrocarburos. Igualmente es necesario disponer de un lugar adecuado para el almacenamiento definitivo de los hidrocarburos.

Seguidamente se comprobará si se han repuesto todos los productos utilizados en el tratamiento de los hidrocarburos, tales como adsorbentes, dispersantes, agentes gelificantes, etc. El paso siguiente consiste en la evaluación de todos los costes de tratamiento y de la cuantía de las indemnizaciones que sea necesario pagar, teniendo en

cuenta los Convenios Internacionales sobre indemnizaciones por daños causados por vertidos de hidrocarburos.

Igualmente es necesario efectuar lo siguiente:

Un análisis minucioso de todas las medidas que se tomaron durante la realización del Plan de Contingencia.

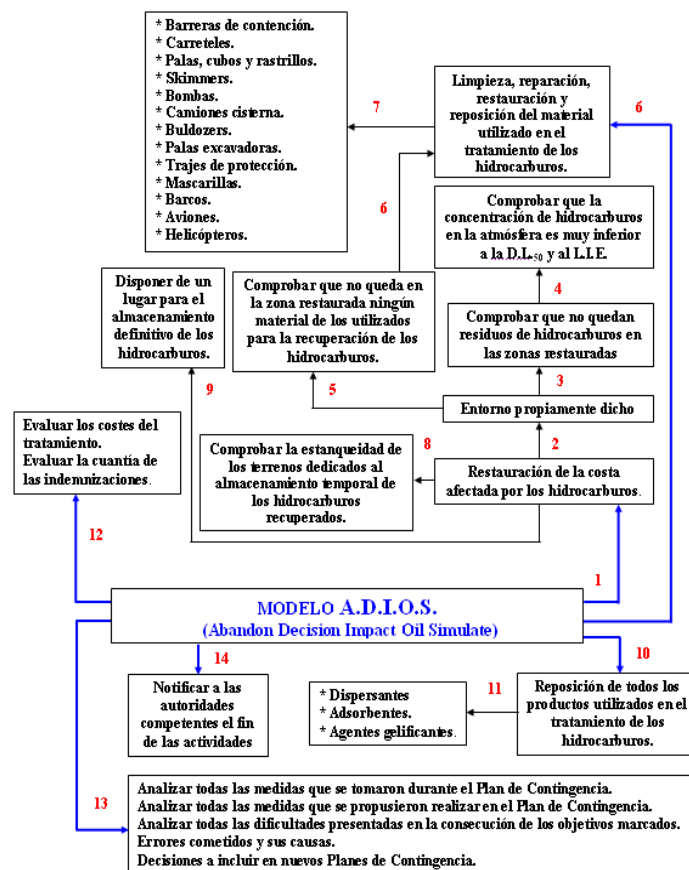
Un análisis de todas las medidas que se propusieron realizar y que por algún motivo no se han podido tomar.

Un análisis de todas las dificultades que han surgido en la consecución de los objetivos que se habían marcado.

Un análisis de todos los errores cometidos y sus causas.

Un análisis de las decisiones que deben incluirse en futuros Planes de Contingencia, a la luz de los errores y de las experiencias de planes anteriores.

La última acción a tomar será la notificación a las autoridades competentes el fin de todas las actividades realizadas. El esquema 28 muestra un diagrama de flujo del modelo ADIOS con todas las comprobaciones que hay que realizar antes de dar por concluido un plan de contingencia.



Esquema 28. Comprobaciones que deben de realizarse antes de dar por concluido un vertido de hidrocarburos en el mar.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

- Bergueiro, J. R. y Domínguez F. Contaminación del Mar por Petróleo. 1991.
- Bergueiro, J. R. y Domínguez F. La Gestión de los Derrames de Hidrocarburos en el Mar. 2001.
- Bergueiro J. R. y Moreno S. Limpieza y Restauración de Costas Contaminadas por Hidrocarburos. P.O. 2002.