

Afección de un
vertido de
hidrocarburos al
proceso de
desalación en
Lanzarote



Afección de un vertido de hidrocarburos al proceso de desalación en Lanzarote

Trabajo realizado por:

ECOS Estudios Ambientales y Oceanografía

Redactado por:

Gregorio Louzara Fernández – Lcdo en Ciencias del Mar

Manuel Ruiz de la Rosa – Lcdo en Biología



Índice

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Objetivo	2
2	Localización y características de la planta	4
3	problemática de los hidrocarburos en desaladoras.....	8
4	Modelo Numérico.....	10
4.1	Introducción al modelo.....	10
4.2	Datos de entrada:.....	12
4.2.1	Batimetría	12
4.2.2	Datos oceano meteorologicos.....	13
4.2.3	Datos del hidrocarburo	17
4.3	Resultados	19
5	Evaluación de los impactos producidos.....	24
6	Conclusiones	29
7	Bibliografía	31
8	Anexo Gráficas Mike	33

Índice de figuras

<i>Figura 1. Mapa de situación de las desaladoras en Lanzarote</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2. Imagen de las cántaras de captación y de uno de los pozos de Lanzarote III.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 3. Imagen de las cántaras de captación y de uno de los pozos de Lanzarote IV</i>	<i>6</i>
<i>Figura 4. Esquema de una cántara de captación estándar.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 5. Batimetría de la zona de estudio</i>	<i>12</i>
<i>Figura 6. Velocidad de la corriente en el periodo de estudio.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 7. Dirección de la corriente en el periodo de estudio.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8. Rosa corrientes de la zona.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 9. Distribución conjunta de periodo y pico de altura significativa.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 10. Distribución conjunta de dirección y velocidad media.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 11. Procesos que actúan sobre un vertido de crudo (Fuente: Fate of marine oil spill, 2002).....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 12. Representación esquemática del destino de un vertido de crudo dónde se muestra los cambios en los procesos de meteorización a lo largo del tiempo (Fuente: Fate of marine oil spill, 2002)</i>	<i>25</i>

Índice de tablas

Tabla 1. Frecuencia de aparición de cada intervalo de velocidad.....	15
Tabla 2. Características del hidrocarburo a modelizar	18
Tabla 3. Resultados para una concentración de vertidos media. Con un valor inicial de 15 litros de hidrocarburo.	20
Tabla 4. Resultados para una concentración de vertidos media. Con un valor inicial de 60 litros de hidrocarburo.	21
Tabla 5. Hidrocarburo disuelto por hora absorbido por la planta, con un valor inicial de 15 litros de hidrocarburo por metro cubico de agua de mar.	22
Tabla 6. Hidrocarburo disuelto por hora absorbido por la planta, con un valor inicial de 60 litros de hidrocarburo por metro cubico de agua de mar.	23
Tabla 7. Incidencias debidas a las alteraciones del agua bruta en vertidos . <i>Guia de desalación: Aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano (2009)</i>	28

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La desalación es el proceso de separación de minerales disueltos (sales) y otras sustancias indeseables contenidas en las aguas salobres o marinas, para convertirlas en agua adecuada para el consumo humano, agua apta para uso industrial o agrícola.

Las tecnologías más utilizadas a nivel mundial, son la desalación mediante plantas de membranas semipermeables, en particular mediante ósmosis inversa y la destilación.

Este tipo de técnicas son comunes en territorios con baja pluviometría, y escasez de recursos hídricos, en este sentido, la desalación de agua de mar se presenta actualmente como la principal apuesta tecnológica para satisfacer la creciente demanda de agua potable de la cuenca mediterránea del litoral español (Medina, 2001 y Martínez, 2006) y se ha convertido en la más importante fuente de recurso hídrico artificial en las Islas Canarias (Veza, 2001 y Sadhwani *et al*, 2008).

Las condiciones climáticas (baja tasa de precipitación anual, periodos de sequía, escasez de otros recursos de agua, etc.) y las condiciones socio-demográficas (incremento de la población, desarrollo de la industria turística, etc.) de estas zonas costeras han dispuesto que el presente y futuro de su abastecimiento de agua potable sea cubierto a través de la desalación de agua de mar. En el caso concreto de Canarias el crecimiento del sector turístico ha convertido la desalación en algunas islas como Lanzarote en la única fuente disponible, en Fuerteventura como la principal fuente ($\geq 80\%$) o como en el caso de Gran Canaria donde equivale al 100 % del consumo total de agua de dicho sector (Fundación Centro Canario del Agua, 2007).

Esta necesidad y demanda ha generado un aumento espectacular de plantas desaladoras en nuestro litoral, así como un impulso en la investigación y desarrollo de las tecnologías de desalación.

Para la producción de un agua de calidad, apta para el uso humano, se requiere de unas condiciones óptimas de agua de mar, común en las costas de Canarias, que se caracterizan por presentar aguas oligotróficas, pobres en nutrientes, lo que facilita los procesos de desalación.

Estas condiciones óptimas para la desalación pueden verse afectadas por eventos puntuales de contaminación, como pueden ser:

- Hidrocarburos
- Material orgánica, sustancias tensoactivas (detergentes), elementos nutrientes y microorganismos aportados por las aguas residuales urbanas
- Metales pesados
- Compuestos organohalogenados
- Sustancias sólidas

De forma habitual, los estudios previos a la instalación de una planta desaladora controlan la presencia de este tipo de emisiones y evitan la interacción entre estas fuentes de contaminación y las zonas de captación de agua de mar para la desalación, aun así, eventos accidentales, como el vertido de hidrocarburos puede afectar en gran medida a la calidad de las aguas desalación.

Este tipo de contaminación puede proceder fundamentalmente de vertidos procedentes de barcos y/o de la actividad portuaria, ya sea por fugas, derrames o por pérdidas accidentales, por vertidos procedentes de plataformas petrolíferas marinas, o procedentes de vertidos que llegan al mar desde emisarios, etc.

En el presente trabajo se analiza la afección de un vertido de hidrocarburos en la costa de Lanzarote, concretamente en las inmediaciones de la planta desalinizadora de Inalsa, al norte de Arrecife, como se comporta el hidrocarburo y como afecta al proceso de desalación, mediante modelizaciones numéricas.

1.2 Objetivo

El objetivo de este estudio es valorar la afección de un vertido de hidrocarburos en el proceso de desalinización de agua de mar.

El efecto de un vertido de hidrocarburos no se contempla en este caso como un proceso físico que afecte al proceso de desalación, mediante taponamiento de tuberías de captación de agua u obturación de bombas, en

el presente estudio se analiza el efecto químico que se genera tras el proceso de disolución de la fracción soluble del hidrocarburo, que genera productos de degradación muy tóxicos para la vida y que contaminan el agua.

El tipo de sistema de captación de agua de mar que se utiliza en la planta desaladora objeto de este estudio, mediante pozos de filtración, hace que nos centremos en el efecto químico de los compuestos solubles de los hidrocarburos en el agua de mar y que pueden llegar hasta los pozos de captación a través de filtración, pudiendo llegar a entrar de forma sencilla en el ciclo del agua, afectando directamente a la calidad del agua desalada.

2 LOCALIAZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

El presente estudio se lleva a cabo en la desaladora de Inalsa en la Punta de Los Vientos, en el término municipal de Arrecife, en la isla de Lanzarote, dónde existen dos plantas de ósmosis inversa: Lanzarote III y Lanzarote IV, cada una con una capacidad de 30.000 m³/día (5 líneas de producción de 6.000 m³ diarios por planta)

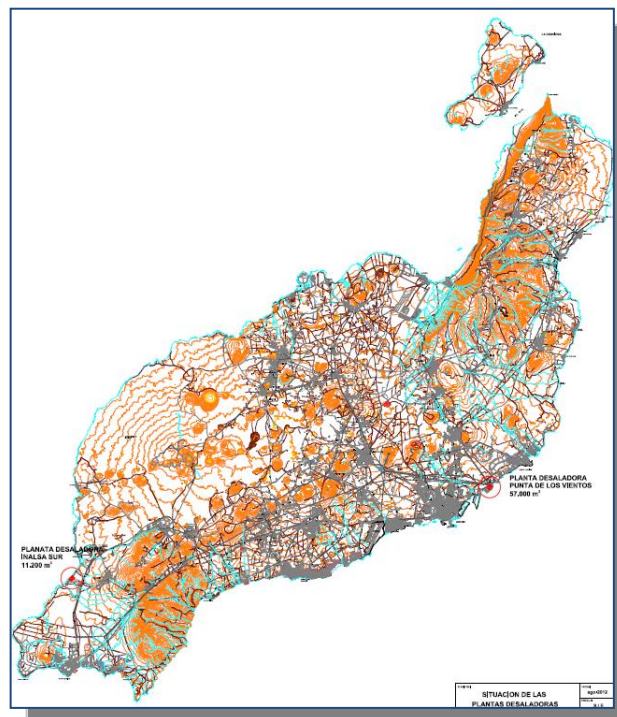


Figura 1. Mapa de situación de las desaladoras en Lanzarote

La fuente de suministro de agua de mar para la planta de Lanzarote III proviene del denominado "Pozo de Captación de Lanzarote III", esta formado por siete cantaros de captación de aproximadamente 3 m de profundidad x 3 m de largo x 1.7 m de ancho, el volumen varia en función de la marea. Se usan bombas centrífugas verticales para el bombeo del agua de alimentación de la planta desaladora.

A continuación se describen cada una de ellas:

- En la cántara denominada con el número 1 aspira una bomba de agua de mar, de caudal aproximado de 530 m³ /h.
- En la cántara denominada con el número 2 aspira una bomba de agua de mar, de caudal aproximado de 530 m³ /h.
- En la cántara denominada con el número 3, actualmente no hay dispuesta ninguna bomba de agua de mar.
- En la cántara denominada con el número 4, actualmente no hay dispuesta ninguna bomba de agua de mar.
- En la cántara denominada con el número 5, aspiran dos bombas de agua de mar, con un caudal total de 1.060 m³ /h.
- En la cántara denominada con el número 6, aspiran dos bombas de agua de mar, con un caudal total de 1.060 m³ /h.
- En la cántara denominada con el número 7, actualmente no hay dispuesta ninguna bomba de agua de mar.



Figura 2. Imagen de las cántaras de captación y de uno de los pozos de Lanzarote III

La fuente de suministro de agua de mar para la planta de Lanzarote IV proviene del pozo denominado de "Pozo de captación de Lanzarote IV". El mismo está formado por una única cántara de captación de dimensiones 6,45 m de profundidad x 21,4 de ancho x 7,22 de largo, y el nivel del mismo varía con las mareas. Se usan bombas centrífugas verticales para el bombeo del agua de alimentación a la planta desaladora.

De la cántara de Lanzarote IV, también aspira una bomba que bombea el caudal a la planta desaladora de agua de mar Lanzarote III.

El caudal total que actualmente se está aspirando es de aproximadamente 3.310 m³/h.



Figura 3. Imagen de las cántaras de captación y de uno de los pozos de Lanzarote IV

La cántara de captación consiste en un depósito que se excava por debajo de la cota del agua del terreno, de esta forma el agua se filtra a través de las paredes de la cántara o depósito de la que es extraída mediante bombas verticales.

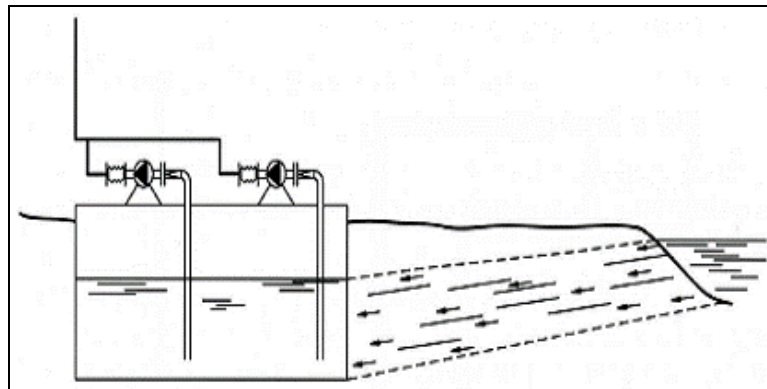


Figura 4. Esquema de una cántara de captación estándar

De forma general, las cántaras se caracterizan por presentar un agua bruta de calidad, y en el caso particular de Lanzarote, dónde no se requiere la utilización de filtros previos, como filtros de arena, para mejorar la calidad de las aguas, y dónde el pretratamiento químico en la captación es casi inexistente.

A través del SDI (Silt Density Index), que es el índice o parámetro que permite evaluar la capacidad de ensuciamiento de un agua sobre las membranas, se puede observar las buenas condiciones que actualmente tienen los pozos de captación. Estos valores están de forma aproximada en valores inferiores a 2.

Y aunque el SDI está lejos de ser un indicador perfecto del potencial de ensuciamiento de un agua, es ampliamente utilizado en todo lo que sea tecnología de membranas, por su utilidad para controlar y diagnosticar el seguimiento del funcionamiento de las plantas desaladoras.

3 PROBLEMÁTICA DE LOS HIDROCARBUROS EN DESALADORAS

La contaminación por crudo, especialmente en el medio marino, está considerada como uno de los mayores desastres ecológicos que pueden existir. Este efecto negativo que genera un vertido de petróleo, ya sea crudo o refinado, se acrecienta en regiones dónde la única fuente de agua para consumo humano depende de la desalación.

Aunque una parte de un vertido de hidrocarburos se elimina como la porción soluble en agua, disolviéndose en el mar, reduciendo el tamaño de la mancha, se genera un problema medioambiental, ya que los componentes solubles en agua de derrames y productos de degradación son muy tóxicos para la vida.

Hidrocarburos aromáticos de pequeño tamaño, como el benceno y el tolueno, así como hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), como el naftaleno, son algunos de los componentes del petróleo solubles en agua que se sabe que tienen efectos tóxicos.

Los hidrocarburos, tanto el petróleo crudo como el refinado son perjudiciales para las membranas de osmosis inversa. Concretamente el petróleo crudo contiene hidrocarburos alifáticos y aromáticos, así como compuestos heterocíclicos y otros que contienen nitrógeno y azufre.

Muchos de los hidrocarburos alifáticos son ligeramente solubles en agua, y tienen actividad neurotóxica a dosis relativamente bajas (Guía de desalación: Aspectos Técnicos y sanitarias en la producción de agua para consumo humano, 2009). Algunos hidrocarburos aromáticos, como por ejemplo el benceno, pueden ser causantes de leucemia, y el benzo (α) pireno, pueden originar cáncer de piel entre otras patologías.

De los numerosos compuestos organosulfurados como los tioles y otros de tipo heterocíclicos, se puede derivar sulfuro de hidrógeno, que es muy tóxico y con olor especialmente desagradable a muy bajas concentraciones.

En cuanto a los efectos sinérgicos, cabe destacar que los hidrocarburos tienen un efecto solubilizante de los plaguicidas organohalogenados que por si mismo son muy solubles al agua.

Los hidrocarburos, aún los más inocuos, pueden causar importantes trastornos y daños debido a su acción física recubriendo estructuras, así como a la flora y a la fauna bentónica.

4 MODELO NUMÉRICO

4.1 Introducción al modelo

La modelización de las corrientes y la dispersión del hidrocarburo se han llevado a cabo con el programa de **MIKE 3** (DHI), un sistema de modelización para mares profundos, estuarios y aguas costeras con una componente de flujo vertical significativa.

Mike 3 es un programa de ingeniería profesional que contiene un sistema de modelización para flujos con superficie libre en 3 dimensiones, mediante la resolución de ecuaciones diferenciales parciales. Mike 3 se puede aplicar a la simulación hidráulica y fenómenos relacionados en lagos, estuarios, bahías, áreas costeras y mares donde la estratificación o circulación vertical sea importante.

Este programa consta de varios módulos, para el estudio hidrodinámico se ha utilizado el **módulo "HD"**, este es el módulo básico, que va a **simular el flujo tridimensional**, teniendo en cuenta, la batimetría, variaciones de densidad, y fuerzas externas como datos meteorológicos, marea, corrientes y otras condiciones hidrodinámicas.

Para caracterizar bien el campo de velocidades se tendrá en cuenta más de una simulación, ya que habrá que contemplar los diferentes parámetros que vayan a afectar la zona de estudio.

Se usarán los datos obtenidos *in situ*, así como datos históricos de oleaje y viento.

Para el estudio de dispersión del vertido de hidrocarburos se utilizó el módulo MIKE 21/3 Oil Spill. Dicho módulo se utiliza para modelar la trayectoria y las variaciones fisicoquímicas de una descarga de hidrocarburos en lagos, estuarios, zonas costeras o mar abierto. Una vez obtenidos los datos hidrodinámicos del módulo HD, estos se acoplan al módulo Spill Oil.

El modelo representa el hidrocarburo como partículas lagrangianas, que se ven advectadas por el cuerpo de agua expuestas a procesos de meteorización (weathering). Asimismo, el modelo puede incluir los siguientes procesos en la simulación: difusión, evaporación, disolución, dispersión vertical, estabilización, biodegradación y fotooxidación.

Formulación empleada en los procesos de disolución aplicada por el modelo.

$$DISS_volatile = k_{diss} \cdot A \cdot M_{volatile} / M_{total} \cdot \rho_{volatile} \cdot f_{Disp} \cdot C_{volatile}^{sat}$$

$$DISS_heavy = k_{dish} \cdot A \cdot M_{heavy} / M_{total} \cdot \rho_{heavy} \cdot f_{Disp} \cdot C_{heavy}^{sat}$$

K_{diss} = tasa de Disolución para l fracción volátil (m/sg)

K_{dish} = tasa de Disolución para l fracción pesada (m/sg)

$M_{volatile}$ = masa volátil de hidrocarburo (Kg)

M_{heavy} = masa pesada de hidrocarburo (Kg)

M_{total} = masa total de hidrocarburo (Kg).

$\rho_{volatile}$ = densidad de la fracción volátil (kg/m³)

ρ_{heavy} = densidad de la fracción pesada (kg/m³)

A = área de cada partícula en contacto con la superficie del agua (m²)

F_{disp} = efecto del dispersante químico.

$C_{Sat\ volatile}$ = solubilidad en el agua de la fracción volátil (Kg/Kg)

$C_{Sat\ heavy}$ = solubilidad en el agua de la fracción pesada (Kg/Kg)

4.2 Datos de entrada:

4.2.1 Batimetría

La tarea más importante para la modelización es la **descripción de las profundidades**, por lo que será necesario definir previamente la batimetría de la zona. Para ello se construyen una malla de trabajo rectangular con las profundidades de cada zona de estudio. Con estas mallas de batimetría digitalizada se obtiene el dominio de trabajo.

Para el caso del presente estudio, se ha considerado una profundidad uniforme, tomando la profundidad máxima dónde se encuentran los pozos de captación en tierra, situados en torno a la cota de -5 metros, dónde parte del pozo se sitúa bajo el nivel freático a los 3,25 metros.

Ya que no sabemos con certeza la ubicación de las zonas por dónde el agua de mar se filtra a los pozos de captación, se tendrá en cuenta para las modelizaciones la masa de agua que va desde los 0 a los -5 metros, ya que será la que de forma general más afecta a la toma de agua.

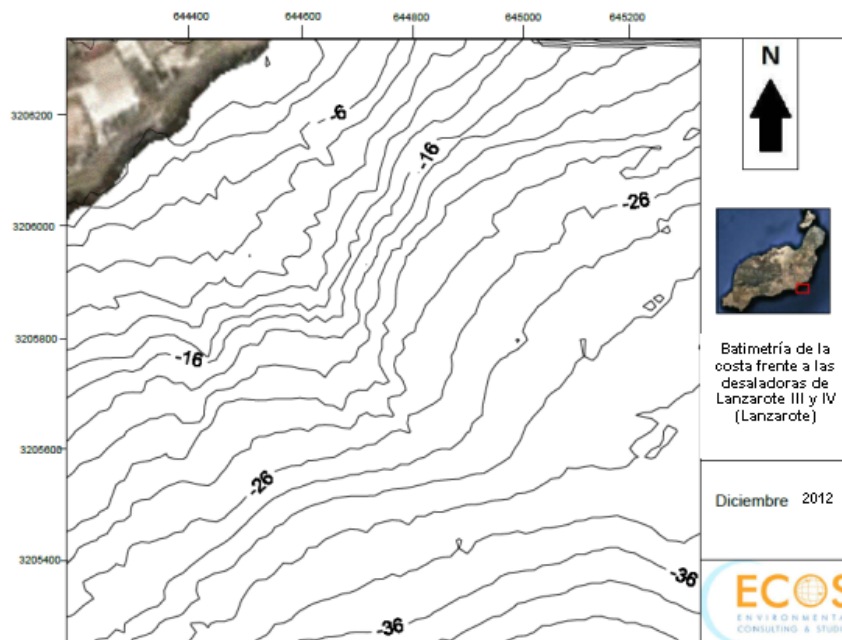


Figura 5. Batimetría de la zona de estudio

Las propiedades de las mallas utilizadas han sido las siguientes:

Malla : mayor amplitud espacial

- Nodos en el eje X: 50
- Nodos en el eje Y: 58
- Separación entre nodos en el eje X (m): 25 metros
- Separación entre nodos en el eje Y (m): 25 metros
- Profundidad máxima de la malla (m): 5 metros

4.2.2 Datos oceano meteorologicos

Corrientes

Los datos de intensidad y dirección de las corrientes de la zona de estudio han sido obtenidos de medidas *in situ*, mediante la instalación de un correntimetro Aanderaa RCM 9. Los datos fueron tratados mediante el software DATA READING 5059.

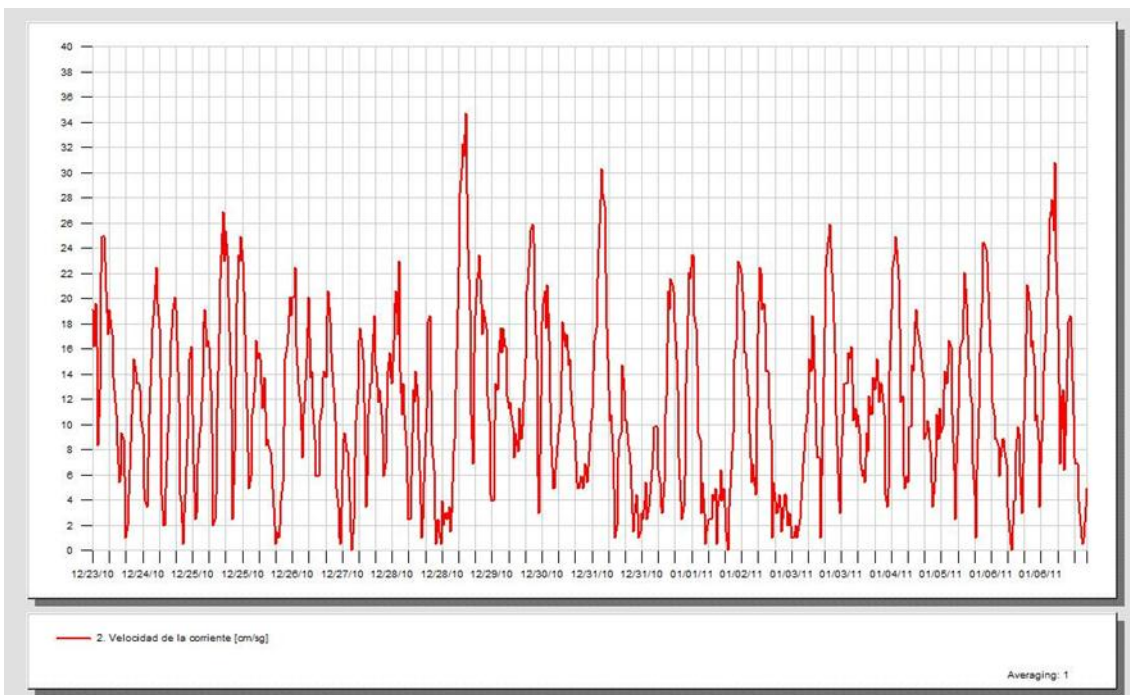


Figura 6. Velocidad de la corriente en el periodo de estudio

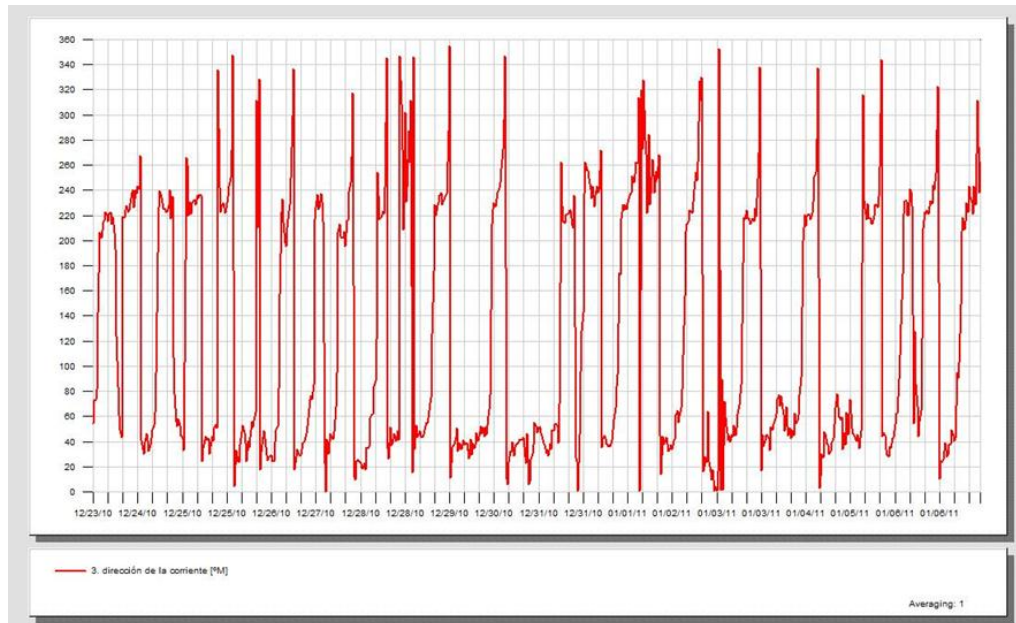


Figura 7. Dirección de la corriente en el periodo de estudio

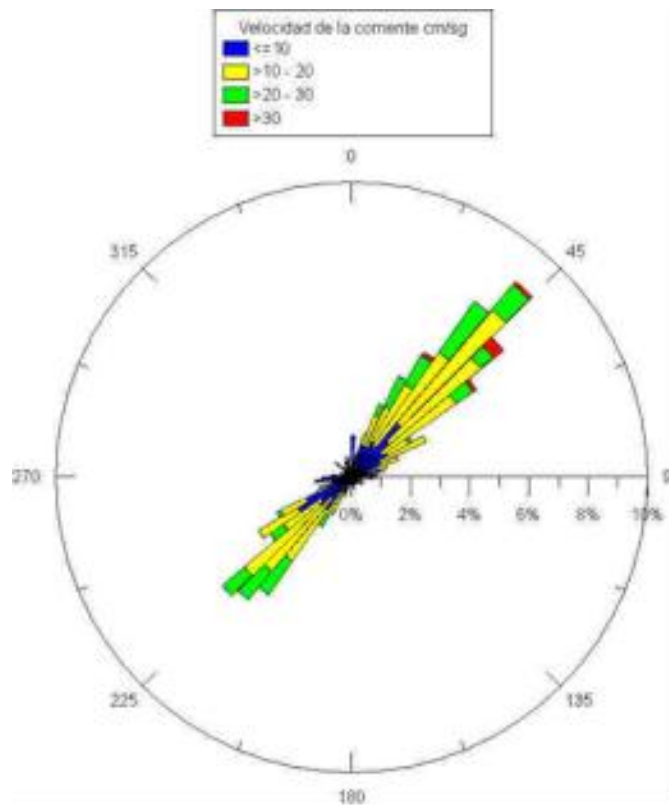


Figura 8. Rosa corrientes de la zona

El dato utilizado fue la dirección perpendicular hacia la línea de costa, el cual tiene una velocidad media de 0.05 m/sg.

Tabla 1. Frecuencia de aparición de cada intervalo de velocidad

Intervalo de velocidad (cm/sg)	Frecuencia %
0-5	21,5
5-10	22,8
10-15	23,6
15-20	19,2
20-25	10,4
25-30	1,8
>30	0,7

Temperatura y salinidad

Para el estudio tomaremos un valor medio de 20°C y 36,8 psu., valores usuales para las aguas en Canarias.

Densidad

Para un estudio de hidrodinámica local, la densidad del agua se puede considerar constante en la columna de agua y en todo el dominio, con un valor de 1025 g/m³.

Oleaje

Para la modelización se han tenido en cuenta tres condiciones diferentes de oleaje,

- 1) Oleaje: 0 mar en calma (probabilidad de aparición 0,22 %)
- 2) Oleaje medio: altura de ola 1 metro y periodo 8 sg. (probabilidad de aparición del 2 %)
- 3) Oleaje extremo: altura de ola 4 metros y periodo 10 sg. (Probabilidad de aparición del 0,4 %)

DISTRIBUCIÓN CONJUNTA DE PERIODO DE PICO Y ALTURA SIGNIFICATIVA

LUGAR : SIMAR_1027016

PERIODO : Anual

SERIE ANALIZADA : Ene. 1958 - Dic. 2001

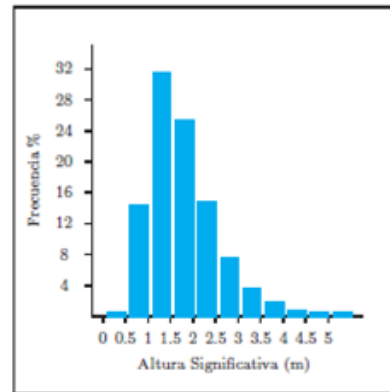
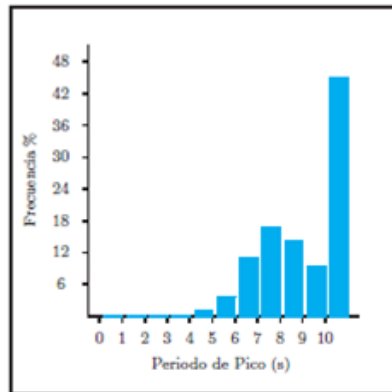


Tabla Periodo de Pico (Tp) - Altura Significativa (Hs) en %

Hs (m)	Tp (s)											Total
	≤ 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	> 10.0	
≤ 0.5	-	-	-	-	0.005	0.013	0.034	0.057	0.052	0.082	0.092	0.336
1.0	-	-	-	0.053	0.448	0.774	1.376	2.012	2.266	1.691	5.531	14.153
1.5	-	-	-	0.012	0.413	2.211	4.681	4.023	3.941	3.238	12.966	31.485
2.0	-	-	-	-	0.046	0.629	4.142	5.842	2.423	1.424	10.854	25.359
2.5	-	-	-	-	0.004	0.087	0.690	3.718	2.622	0.668	6.947	14.735
3.0	-	-	-	-	-	0.010	0.099	0.674	1.975	0.717	3.866	7.341
3.5	-	-	-	-	-	0.002	0.010	0.101	0.664	0.688	2.028	3.493
4.0	-	-	-	-	-	-	-	0.009	0.134	0.440	1.121	1.705
4.5	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.012	0.162	0.633	0.808
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	0.038	0.343	0.385
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.005	0.195	0.200
Total	-	-	-	0.065	0.917	3.726	11.033	16.439	14.091	9.152	44.576	100%

Figura 9. Distribución conjunta de periodo y pico de altura significativa

Viento

Para la modelización se han tenido en cuenta tres condiciones diferentes de viento.

- 1) Viento calma: velocidad 0 m/s (probabilidad de aparición del 0,47%)
- 2) viento medio: velocidad 6 m/s. (Probabilidad de aparición del 19 %)

- 3) viento extremo: velocidad 12 m/sg. (Probabilidad de aparición del 7,12 %)

DISTRIBUCIÓN CONJUNTA DE DIRECCIÓN Y VELOCIDAD MEDIA

LUGAR : SIMAR_1027016

PERIODO : Anual

CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

SERIE ANALIZADA : Ene. 1958 - Dic. 2001

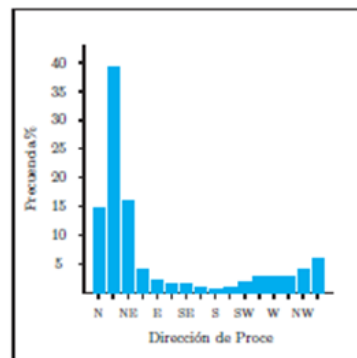
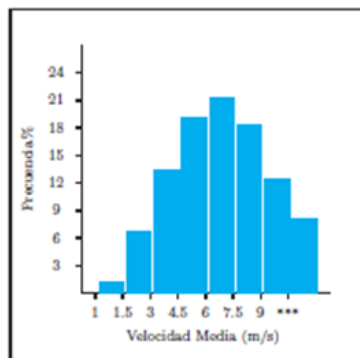


Tabla Velocidad Media (Ve) - Dirección de Procedencia en %

Dirección	Ve (m/s)									Total
	≤ 1.0	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	> 10.5	
CALMAS	.477									.477
N	0.0	.116	.907	2.373	3.865	3.648	2.298	.994	.401	14.603
NNE	22.5	.103	.770	2.360	5.248	8.418	9.647	7.651	4.635	38.832
NE	45.0	.079	.646	1.593	3.063	3.909	3.297	2.049	1.378	16.013
ENE	67.5	.068	.430	.790	1.114	.904	.406	.107	.040	3.860
E	90.0	.068	.279	.490	.567	.472	.209	.077	.014	2.175
ESE	112.5	.050	.185	.254	.295	.289	.212	.091	.069	1.436
SE	135.0	.037	.160	.193	.194	.222	.177	.104	.071	1.159
SESE	157.5	.034	.134	.154	.117	.117	.096	.066	.033	.751
S	180.0	.040	.145	.142	.103	.068	.034	.017	.014	.563
SSW	202.5	.046	.166	.174	.150	.146	.086	.063	.076	.907
SW	225.0	.044	.227	.307	.338	.372	.260	.144	.237	1.930
WSW	247.5	.053	.317	.427	.485	.380	.289	.217	.268	2.437
W	270.0	.058	.419	.607	.543	.429	.290	.175	.209	2.729
WNW	292.5	.082	.507	.715	.606	.419	.241	.142	.128	2.840
NW	315.0	.106	.672	1.053	.833	.469	.286	.170	.149	3.739
NNW	337.5	.097	.751	1.548	1.537	.855	.396	.202	.163	5.549
Total	.477	1.080	6.716	13.180	19.059	21.117	18.225	12.269	7.876	100%

Figura 10. Distribución conjunta de dirección y velocidad media

4.2.3 Datos del hidrocarburo

Para la clasificación del hidrocarburo a modelizar se usaron las recomendaciones enviadas por el contratante.

Los escenarios posibles varían en función de si es un derrame con una concentración media o un derrame de gran envergadura con una concentración alta.

En nuestro caso de estudio, utilizaremos:

- Concentración de hidrocarburo media: 15 litros/m³ de agua
- Concentración de hidrocarburo alta: 60 litros/m³ de agua

Características físico-químicas

La densidad del petróleo oscila entre 0,95 g/cm³ y 0,66 g/cm³, en nuestro caso usaremos como densidad media el valor de 0,80 g/cm³.

Dado que no se conoce las características del hidrocarburo se tendrá en cuenta un API de 40°, ya que para que sea rentable la extracción de crudo a las profundidades previstas el crudo a de ser ligero.

Según la ITPOF tendremos un hidrocarburo de II, con una fracción volátil del 70% y una fracción pesada del 30%

Tabla 2. Características del hidrocarburo a modelizar

	ITPOF Group	I	II	III	IV
	Density (g/cm ³)	< 0.8	0.8 – 0.85	0.85 – 0.95	> 0.95
	°API	> 45	35 - 45	17.5 – 35	< 17.5
8	Examples	Gasoline, Kerosene	Gas oil, Brent Blend, Ekofisk	Crude oil, Arabian Heavy	Heavy fuel
	DHI oil fractions				
1	Light volatile	100	70	55	35
1	Heavy	0	30	45	65

Dado que no se tienen datos del contenido en agua se estima entorno al 1%.

La situación inicial del vertido se sitúa a 650 metros de la costa, dado que la zona de interés de la modelización se encuentra en la parte cercana a costa. Para ver principalmente la disolución del hidrocarburo cerca de la zona de la toma de agua de la desaladora de Arrecife (INALSA).

4.3 Resultados

A continuación se representan los resultados de las diferentes concentraciones y condiciones oceano-meteorológicas valoradas en el estudio.

En cada una de las tablas se representa las variaciones del hidrocarburo hasta que llega a costa, teniendo en cuenta que la simulación empieza a 650 metros de la costa, y solo se tiene en cuenta la cantidad que permanece en el agua, saliendo de la simulación una vez que llegue a costa.

La cantidad a simular sería la contenida en un metro cúbico de agua, 15 litros y 60 litros de hidrocarburo, respectivamente.

Los valores están expresados en Kg ya que existen variaciones en la densidad a medida que el petróleo se va envejeciendo,

En cada tabla se representa:

- Datos iniciales: cantidad en inicial en Kg a modelizar, oleaje, frecuencia de aparición del oleaje, viento, frecuencia de aparición del viento.
- Datos de salida del modelo: Kg que se disuelven cada m³ de agua, kg que se biodegradan cada m³ de agua, Kg evaporados cada m³ de agua y Kg que llegan a costa cada m³ de agua, tiempo de permanencia en la zona de estudio, Kg de hidrocarburo disuelto en cada m³ de agua por hora.

Tabla 3. Resultados para una concentración de vertidos media. Con un valor inicial de 15 litros de hidrocarburo.

Datos de entrada					Datos de salida					
Conc. inicial (Kg/m ³)	oleaje	frecuencia(%)	viento m/sg	frecuencia (%)	Kg dis/m ³	kg biodeg/m ³	kg Evap/m ³	Kg llegan a costa/m ³	tiempo (horas)	Kg Dis/m ³ /h
13	0	0.2	0	0.47	0.393	0.025	4.060	8.940	7.0	0,056
13	0	0.2	6	19	0.376	0.036	2.200	10.630	1.5	0,251
13	0	0.2	12	7.12	0.367	0.038	1.930	11.072	1.0	0,367
13	H=1m T=8sg	2.0	0	0.47	0.393	0.249	4.070	8.930	7.0	0,056
13	H=1m T=8sg	2.0	6	19	0.376	0.036	2.200	10.800	1.5	0,251
13	H=1m T=8sg	2.0	12	7.12	0.367	0.038	1.030	11.630	1.0	0,367
13	H=4m T=10sg	0.4	0	0.47	0.393	0.025	4.070	8.930	7.0	0,056
13	H=4m T=10sg	0.4	6	19	0.376	0.036	2.200	10.800	1.5	0,251
13	H=4m T=10sg	0.4	12	7.12	0.364	0.039	1.800	11.200	1.0	0,364

Tabla 4. Resultados para una concentración de vertidos media. Con un valor inicial de 60 litros de hidrocarburo.

Datos de entrada					Datos de salida					
Conc. inicial (Kg/m ³)	oleaje	frecuencia(%)	viento m/sg	frecuencia (%)	Kg dis/m ³	kg biodeg/m ³	kg Evap/m ³	Kg llegan a costa/m ³	tiempo (horas)	Kg Dis/m ³ /h
53	0	0.2	0	0.47	1331	0.099	16,340	36,680	7.0	0.19
53	0	0.2	6	19.00	0.510	0.141	8,900	44,109	1.5	0.34
53	0	0.2	12	7.12	0.441	0.144	8,420	45,170	1.0	0.441
53	H=1m T=8sg	2.0	0	0.47	1331	0.100	16,340	36,680	7.0	0.19
53	H=1m T=8sg	2.0	6	19.00	0.507	0.143	8,900	44,109	1.5	0.338
53	H=1m T=8sg	2.0	12	7.12	0.441	0.152	8,420	45,170	1.0	0.441
53	H=4m T=10sg	0.4	0	0.47	1331	0.100	16,340	36,680	7.0	0.19
53	H=4m T=10sg	0.4	6	19.00	0.510	0.143	8,430	44,000	1.5	0.34
53	H=4m T=10sg	0.4	12	7.12	0.441	0.152	6,990	45,170	1.0	0.441

Las plantas desaladoras Lanzarote III y Lanzarote IV tienen un caudal conjunto de 60.000 m³ por día, lo que hace un caudal por hora de 2.500 m³/hora para ambas plantas.

A continuación se representa las tablas con la cantidad de hidrocarburo disuelto por hora que sería absorbida por la planta, si tuviésemos en cuenta la hipótesis de que una mancha de hidrocarburo cubriese la zona circundante a los pozos de admisión durante una hora, situación que se podría dar en el caso de un vertido accidental.

Tabla 5. Hidrocarburo disuelto por hora absorbido por la planta, con un valor inicial de 15 litros de hidrocarburo por metro cubico de agua de mar.

Datos de entrada						Datos de salida	
Conc. inicial (Kg/m ³)	oleaje	frecuencia(%)	viento m/sg	frecuencia (%)	Caudal desaladora m ³ /hora	Kg Dis/m ³ /h	Kg de HC disuelto absorbido por hora
13	0	0.2	0	0.47	2500	0,056	140
13	0	0.2	6	19	2500	0,251	627,5
13	0	0.2	12	7.12	2500	0,367	917,5
13	H=1m T=8sg	2.0	0	0.47	2500	0,056	140
13	H=1m T=8sg	2.0	6	19	2500	0,251	627,5
13	H=1m T=8sg	2.0	12	7.12	2500	0,367	917,5
13	H=4m T=10sg	0.4	0	0.47	2500	0,056	140
13	H=4m T=10sg	0.4	6	19	2500	0,251	627,5
13	H=4m T=10sg	0.4	12	7.12	2500	0,364	910

Tabla 6. Hidrocarburo disuelto por hora absorbido por la planta, con un valor inicial de 60 litros de hidrocarburo por metro cubico de agua de mar.

Datos de entrada						Datos de salida	
Conc. inicial (Kg/m ³)	oleaje	frecuencia (%)	viento m/sg	frecuencia (%)	Caudal desaladora m ³ /hora	Kg Dis/m ³ /h	Kg de HC disuelto absorbido
53	0	0.2	0	0.47	2500	0.19	475
53	0	0.2	6	19.00	2500	0.34	850
53	0	0.2	12	7.12	2500	0.441	1102.5
53	H=1m T=8sg	2.0	0	0.47	2500	0.19	475
53	H=1m T=8sg	2.0	6	19.00	2500	0.338	845
53	H=1m T=8sg	2.0	12	7.12	2500	0.441	1102.5
53	H=4m T=10sg	0.4	0	0.47	2500	0.19	475
53	H=4m T=10sg	0.4	6	19.00	2500	0.34	850
53	H=4m T=10sg	0.4	12	7.12	2500	0.441	1102.5

5 EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS PRODUCIDOS

A partir de los resultados obtenidos en la modelización del comportamiento de un vertido de hidrocarburos determinado, según los datos de entrada, en las inmediaciones de las desaladoras de Lanzarote III y IV, se pueden determinar una serie de afecciones, tanto directas como indirectas, de los hidrocarburos sobre el proceso de desalación.

Como se comentó anteriormente, en la actualidad, la calidad del agua de los pozos de captación es óptima, con valores de SDI inferiores a 2, en caso que se generara un evento accidental de un vertido de crudo en las costas de Lanzarote, los hidrocarburos solubles (Benzenos, Toluenos, naftalenos, etc) se filtrarían a través del terreno hasta llegar a los pozos de captación, aumentando considerablemente los valores de SDI del agua a desalar.

Cuando un vertido de petróleo se genera y fluye por el mar, un gran número de compuestos volátiles se transfieren a la atmosfera, quedando un pequeño porcentaje de compuestos en el agua. La degradación o dispersión de estos compuestos en estado disuelto dependen del tiempo transcurrido y de las condiciones meteorológicas y oceanográficas, que pueden acelerar esos procesos de dispersión o degradación, y que pueden transformarse en material sólido con el paso del tiempo, generando las bolas de alquitrán.

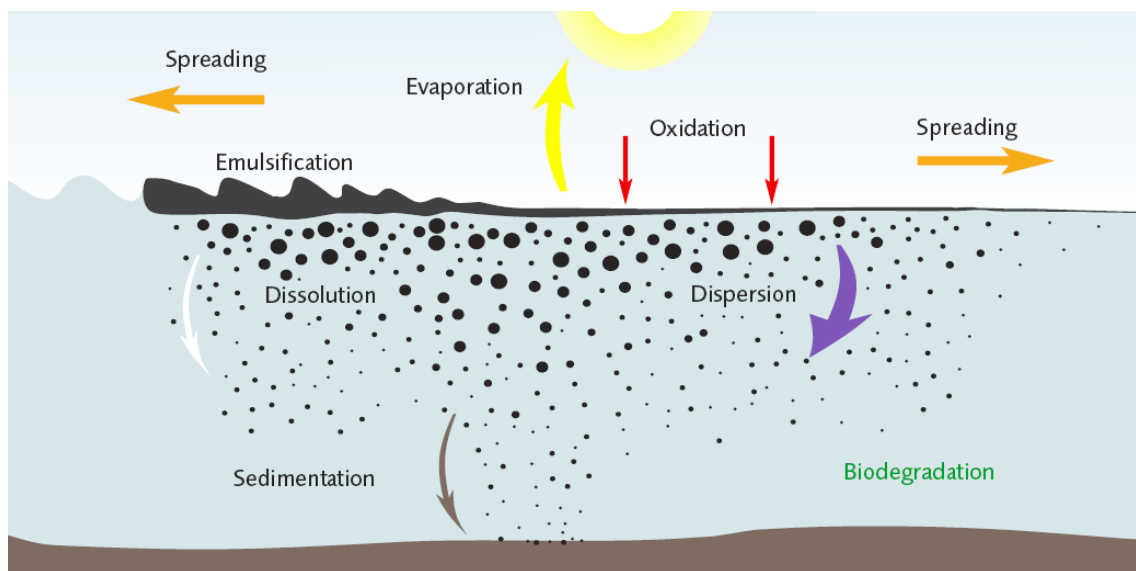


Figura 11. Procesos que actúan sobre un vertido de crudo (Fuente: Fate of marine oil spill, 2002)

El gran problema de este tipo de vertidos frente a las plantas desaladoras, es que los compuestos disueltos en el agua, puedan permanecer por un periodo lo suficientemente largo en el agua, y que puedan llegar a las zonas de captación de agua de mar para desalar.

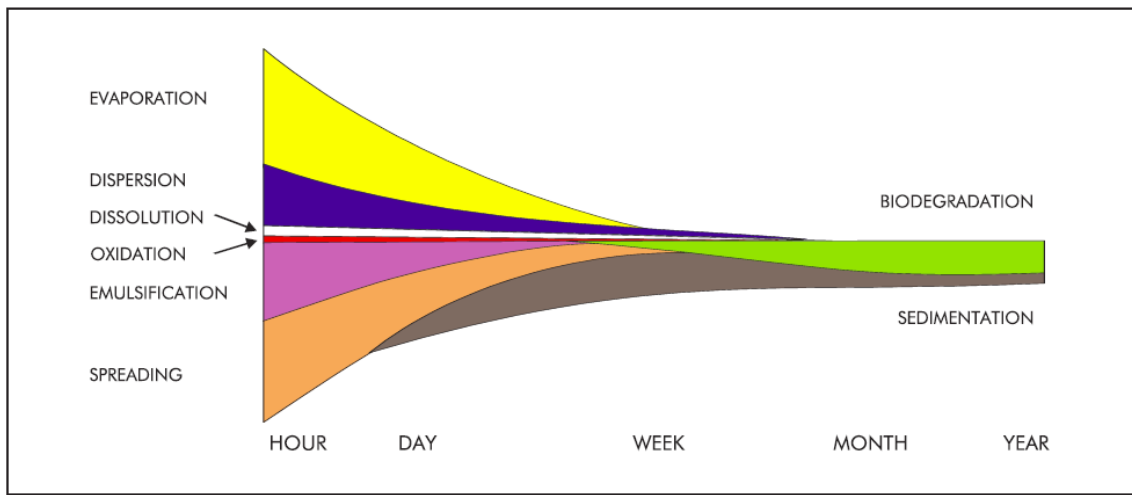


Figura 12. Representación esquemática del destino de un vertido de crudo dónde se muestra los cambios en los procesos de meteorización a lo largo del tiempo (Fuente: Fate of marine oil spill, 2002)

Si un vertido llega a zonas de captación, las membranas de ósmosis inversa para productos orgánicos tiene un rango de filtración que oscila entre 100-300 daltons de peso molecular, reteniendo las sustancias con mayor peso molecular.

Los compuestos disueltos de los hidrocarburos, tales como bencenos o toluenos presentan pesos moleculares de 78,11 da y 91,3 da, traspasando las membranas de ósmosis inversa.

Entre los efectos que una agua contaminada puede tener en el proceso de desalación, inicialmente se pueden generar **efectos físicos**, a partir de aquellas sustancias que quedan retenidas en las membranas, que generan un ensuciamiento en los bastidores de las membranas, que podría reflejarse en una pérdida de producción de las mismas, un incremento de su presión de alimentación o de la presión diferencial.

Este ensuciamiento se traduce en un mayor pasaje de sales (aumento de la concentración de sales en el permeado) y en una disminución del caudal de permeado. Cuando estos parámetros se apartan por encima de un cierto valor con respecto a los valores de diseño (cuando el caudal baja por debajo

del 85 % del caudal de diseño, o la salinidad sube mas de un 15 % por encima de los valores de diseño) es necesario sacar de servicio la unidad de ósmosis inversa y efectuar un lavado químico de las membranas, para tratar de restablecer las condiciones de diseño.

Además, y como efecto más nocivo, se presenta el **efecto químico** de un agua contaminada por hidrocarburos, dónde incluso utilizando filtros previos, tales como filtros de arena tradicionales algunos, generaría una agua desalada que podría llegar a ser perjudicial, en función de las concentraciones de los diversos compuestos.

Los efectos tóxicos que los diferentes compuestos de un vertido de crudo generan en el agua son los siguientes (Mayan *et al*, 1991):

- **Aceite mineral:** Lo constituyen hidrocarburos alifáticos y aromáticos poco solubles en el agua. A pesar de ser inocuos la mayoría de los compuestos que lo forman, hay ciertos compuestos que pueden ser muy tóxicos, por lo que se ha optado, a nivel internacional, agruparlos todos como sustancias tóxicas.

Diversas investigaciones han demostrado que los límites de tolerancia de esos compuestos para la salud humana superan los umbrales del olor y del gusto cuando están presentes en el agua.

- **Benceno:** Este compuesto es conocido por tener efectos cancerígenos, pudiendo aumentar el riesgo a padecer cancer aguas que presenten concentraciones de benceno superiores a 100 µg/l. La Organización Mundial de la Salud ha establecido un valor de referencia de 10 µg/l.
- **Tolueno:** Compuesto de crudo que presenta una alta solubilidad en agua (515 mg/l). Es menos tóxico que el benceno, un consumo de hasta 700 µg/l es considerado aceptable para la salud de adultos. En este sentido la OMS considera un umbral de 1000 µg/l en agua para beber.
- **Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH):** Esta clase presenta más de 20 compuestos, algunos de los cuales pueden llegar a ser extremadamente tóxicos. Estos compuestos presentan una solubilidad limitada en el agua, siendo frecuente que sedimenten de forma sólida generando alquitrán. Muchos PAHs presentan mutaciones en sistemas bacterianos y generan tumores en la piel de algunos animales de ensayo. La OMS ha establecido el límite de PAH en agua potable en 0,01 µg/l para benzo(a) pireno, uno de los PAH mejor estudiados.

Estas alteraciones en la calidad del agua bruta tienen efectos directos en el agua resultante de la desalación, que requiere acciones inmediatas, tales como controles analíticos, acciones correctoras, como frenar la fuente de impacto o buscar alternativas de fuente de agua bruta, así como medidas preventivas, tal y como recoge la *Guía de desalación: Aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano* (2009)

Tabla 7. Incidencias debidas a las alteraciones del agua bruta en vertidos . *Guia de desalación: Aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano (2009)*

Causas	Detección	Acciones inmediatas	Acciones correctoras	Medidas Preventivas
Alteración de la calidad del agua bruta por contaminación de acuíferos o fuentes superficiales en zonas contaminadas con vertidos	<p>Posible presencia de metales pesados</p> <p>Incremento de las presiones diferenciales y de la conductividad: Transmembrana, entre etapas</p> <p>Descenso imprevisto del caudal del producto</p>	<p>Control analítico de la calidad del agua bruta</p> <p>Medición y control de caudales individuales de bastidores</p> <p>Medición y control de presiones y conductividad en alimentación a membranas, permeado y salmuera</p> <p>Diferencia de presión entre la entrada y la salida de cada una de las etapas</p> <p>Investigar la sustancia causante de la contaminación y realizar controles periódicos de su presencia en agua bruta</p>	<p>Establecer estrategia con las autoridades competentes para eliminar el foco de contaminación o minimizar sus efectos</p> <p>Sustitución de la fuente del agua bruta</p> <p>Realizar acciones sobre el petratamiento</p> <p>Valorar si procede la limpieza química de las membranas</p>	<p>Identificar foco u origen de contaminación</p> <p>Verificar que los límites de operación de las membranas son compatibles con la calidad del agua bruta</p>

6 CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en las modelizaciones y los datos bibliográficos consultados sobre el comportamiento de los compuestos de un vertido de hidrocarburos en desaladoras, podemos concluir:

- En presencia de condiciones oceanográficas y vientos más desfavorables aumenta la afección a la desalación. Ya que existe una mayor disolución del hidrocarburo en agua, apareciendo una mayor cantidad de compuestos solubles, como bencenos, toluenos o PAHs, que no se detectan a simple vista, pero que son extremadamente tóxicos si entran en los pozos de captación.
- En presencia de condiciones de calma, existe una menor disolución de hidrocarburos, por lo que hay un menor porcentaje de presencia de compuestos solubles del hidrocarburo en agua durante las primeras horas. A medida que pase el tiempo, ese hidrocarburo se va degradando y aumentando los procesos de disolución.
- Para un vertido de una concentración media, que pueda estar en torno a 15 l/m³, se estima que el porcentaje total de compuestos solubles del hidrocarburo (BTEX: Bencenos, Toluenos, Etilbencenos y Xilenos) que se disuelven y que entran en el ciclo del agua, pudiendo entrar en los procesos de desalación es de 2,8%, para las condiciones más desfavorables de viento y oleaje, y de un 0,4% para unas condiciones en calma, durante las primeras horas. A medida que pasa el tiempo, el hidrocarburo va envejeciendo, por lo que pueden variar estos porcentajes.
- Para un vertido de gran envergadura, con una concentración de 60 l/m³, se estima que el porcentaje total de compuestos solubles del hidrocarburo (BTEX: Bencenos, Toluenos, Etilbencenos y Xilenos) que se disuelven y que entran en el ciclo del agua, pudiendo entrar en los procesos de desalación es de 0,5%, para las condiciones más desfavorables de viento y oleaje, y de un 0,2% para unas condiciones en calma, durante las primeras horas. A medida que pasa el tiempo, el hidrocarburo va envejeciendo, por lo que pueden variar estos porcentajes.

- El resto de compuestos de hidrocarburos que quedan tras la disolución de los compuestos solubles en el agua, como el alquitrán u otros compuestos del petróleo, permanecerían en el medio, sedimentando o en la columna de agua, generando, a su vez, graves afecciones sobre el medio marino.

Estos datos podrán variar en función el tipo de hidrocarburo que se estudie, afectando al tiempo de disolución, a las concentraciones de los diferentes compuestos o al tiempo de envejecimiento.

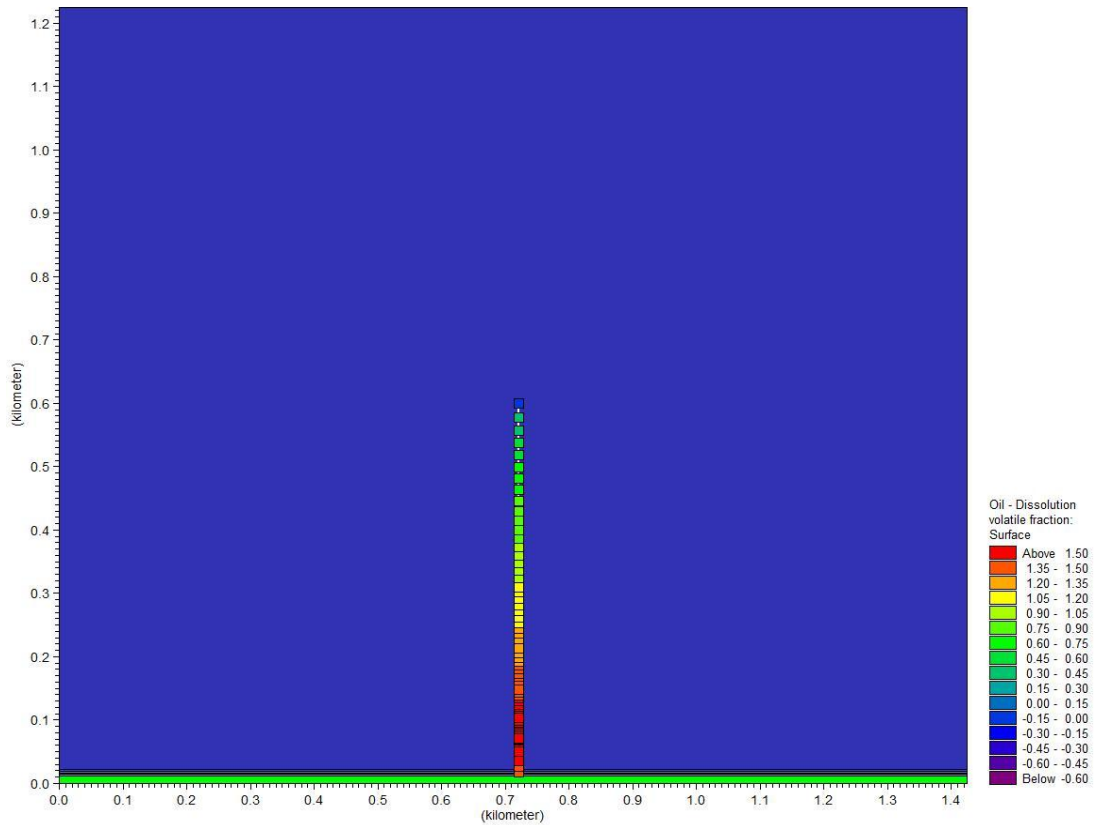
7 BIBLIOGRAFÍA

- DHI Oil Spill Model. Oil Spill Template. Scientific documentation. 2012.
- Elshorbagy, E. & Elhakeem A. 2008. Risk assessment maps of oil spill for major desalination plants in the United Arab Emirates. *Desalination* 228: 200-216.
- Fundación Centro Canario del Agua (2007). Turismo y desalación en Canarias. *Desalación en Canarias. El Agua en Canarias.* (www.fcca.es)
- Martínez, J.J. (2006). Evaluación del Impacto Ambiental de las Desaladoras. Comunicación Técnica: Congreso Nacional del Medio Ambiente CONAMA. Cumbre del desarrollo Sostenible.
- Mayan, P.C., Nomani, A.A., Thankachan, T.S. & Al-Snlami, S.A. (1991). Monitoring of oil spill contaminants in water samples from SWCC desalination plants at Al-Jubail and Al-Khobar. Technical Report No SWCC.
- Medina, A. J. (2001). La desalación en España. Situación actual y previsiones. Conferencia Internacional: El Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua. Aspectos medioambientales, reutilización y desalación.
- Ministerio de Sanidad y Política Social (2009). Guía de desalación: Aspecto técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano.
- Sadhwani, J.J., Veza, J.M. (2008). Desalination and energy consumption in Canary Islands. *Desalination* 221, 143-150.
- Veza, J.M. (2001). Desalination in the Canary Islands: an update, *Desalination*, 133, 259-270.
- World Health Organization. 2008. Guidelines for drinking-water quality. Volume 1. Recommendations.

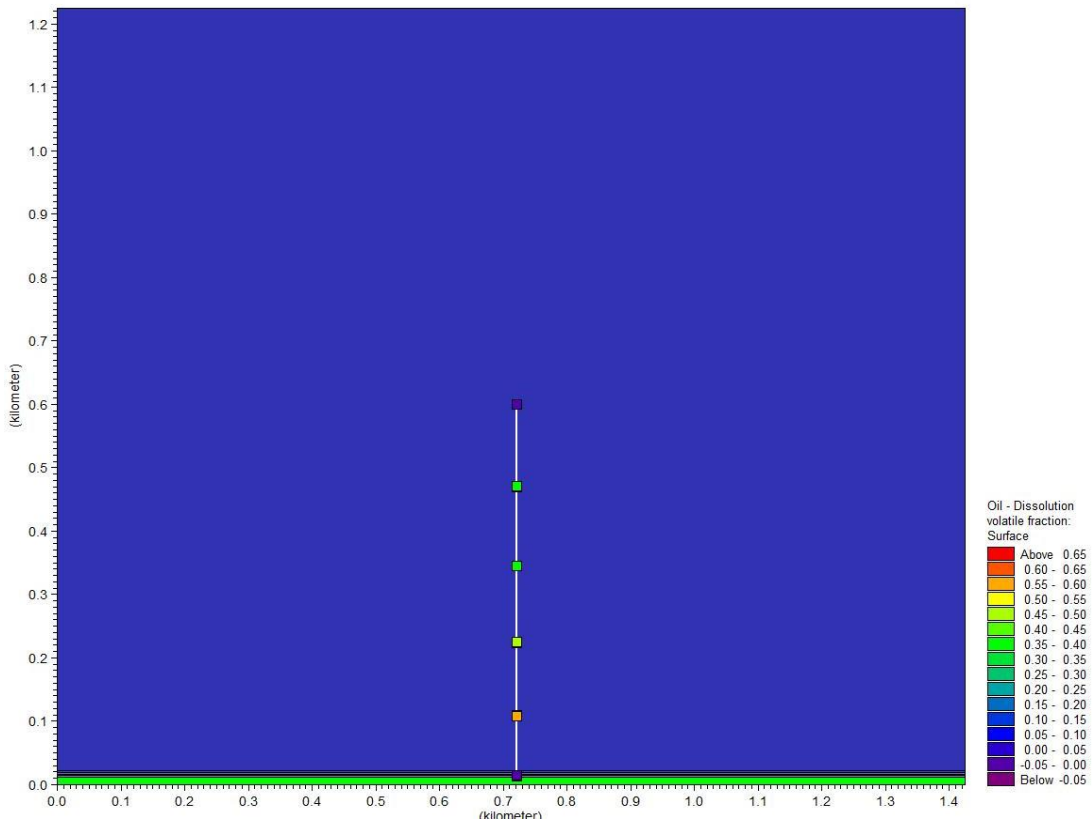
- World Health Organization. 2007. Desalination for safe water supply. Guidance for health and environmental aspects applicable to desalination.

8 ANEXO GRÁFICAS MIKE

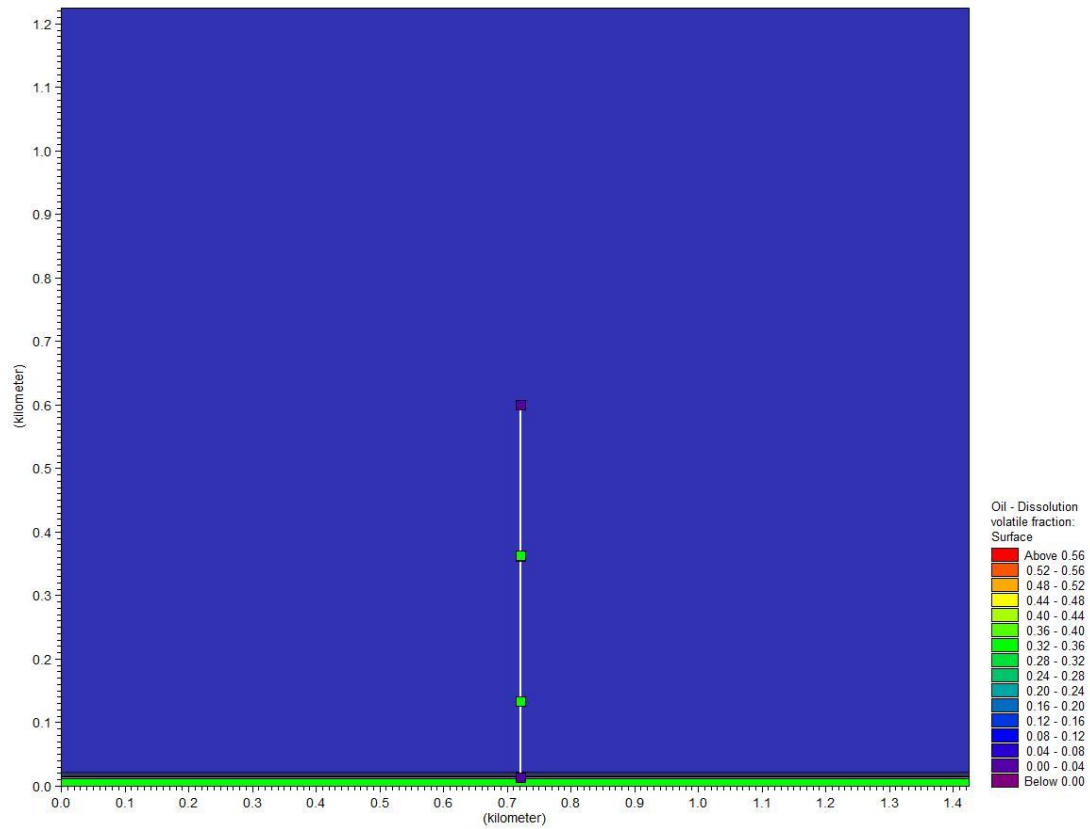
Gráficas de disolución del hidrocarburo cada 15 minutos para viento 0 en un vertido de alta concentración (60 l/m³)



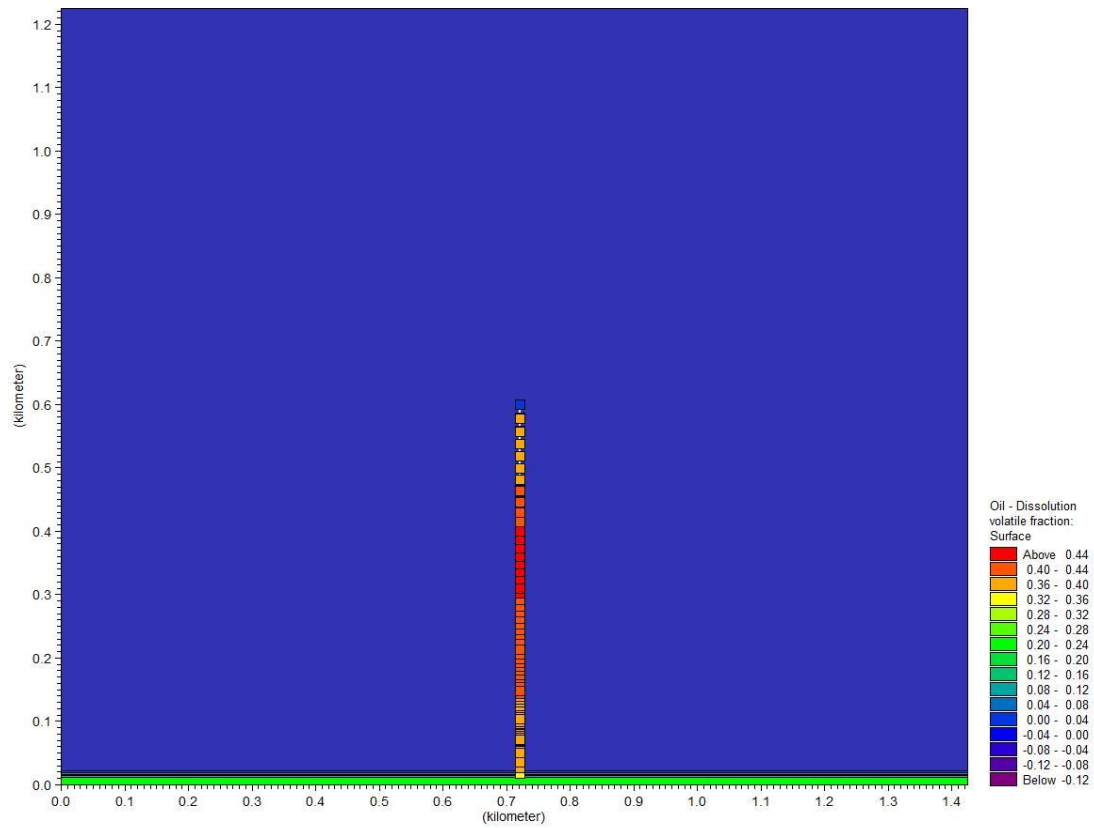
Gráficas de disolución del hidrocarburo cada 15 minutos para viento 6 m/s en un vertido de alta concentración (60 l/m³)



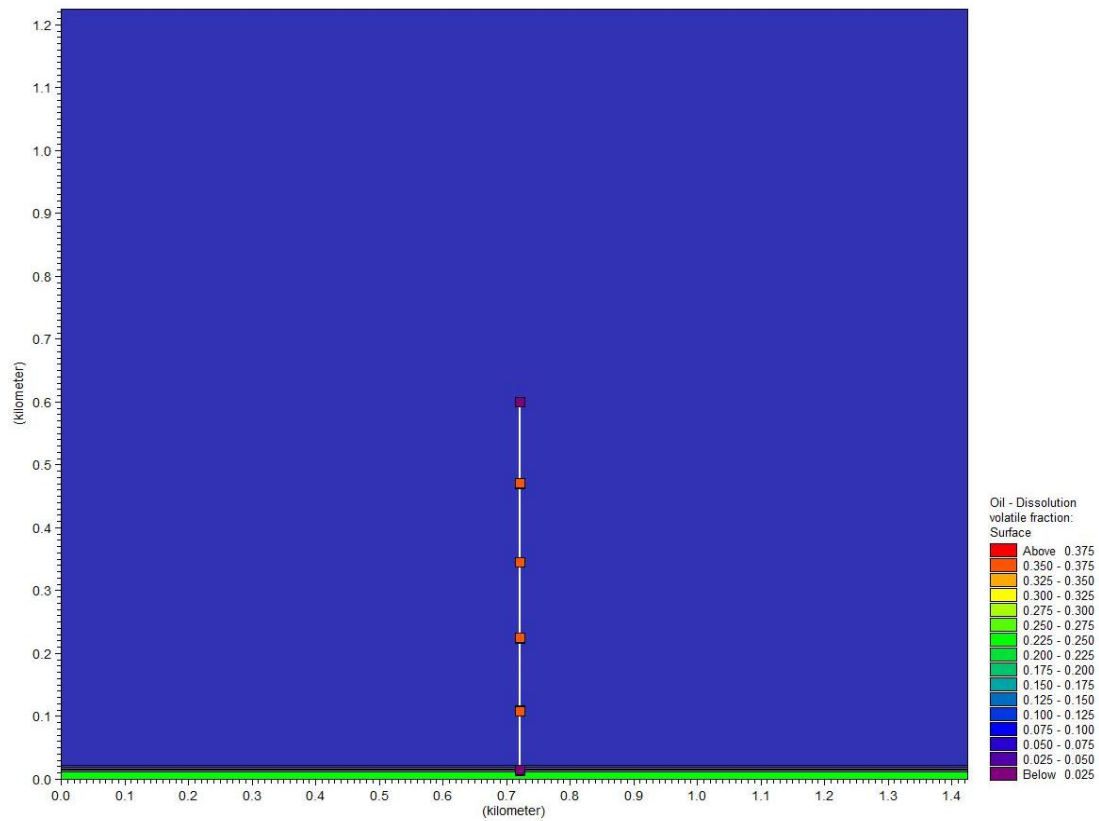
Gráficas de disolución del hidrocarburo cada 15 minutos para viento 12 m/s en un vertido de alta concentración (60 l/m³)



Disolución del hidrocarburo cada 15 minutos para viento 0 m/s en un vertido de baja concentración (15 l/m³)



Disolución del hidrocarburo cada 15 minutos para viento 6 m/s en un vertido de baja concentración (15 l/m³)



Disolución del hidrocarburo cada 15 minutos para viento 12 m/s en un vertido de baja concentración (15 l/m³)

