

ESTUDIO DE DISPERSIÓN DE HIDROCARBUROS EN MEDIO MARINO.

Marina Corral

Eliseo Pablo Vergara

Nicolás Rubio Barragán

Universidad de La Rioja

María Eugenia Lacarra Córdova

Universidad Politécnica de Madrid

Abstract

Oil spills of marine environment are scattered over the surface according to the winds dynamics and ocean currents prevailing in the area. It is important to determine the extent and scope of pollution to protect marine life and prevent the damage to coastal and marine ecosystems.

Hydrodynamic-numeric models are well established in simulating ocean currents. They may be used in a predictive capacity, in which current information is used to forecast the spill trajectory. These types of tools were specifically made to develop contingency plans, and reduce disasters that cause these discharges to the sea.

Keywords: *oil; pollution dispersion; water quality models*

Resumen

Los vertidos de hidrocarburos en el medio marino se dispersan sobre la superficie de acuerdo con la dinámica de los vientos y las corrientes marinas prevalecientes en el área. Es importante determinar la extensión y los alcances de la contaminación para la protección de la vida marina y evitar en la medida de lo posible daños graves a los ecosistemas costeros y marinos.

Los modelos hidrodinámicos nos permiten establecer la extensión y los alcances del derrame, permitiendo hacer el seguimiento y el pronóstico de su evolución. Este tipo de herramientas cobran vital importancia a la hora de desarrollar planes de contingencia, permitiendo disminuir las catástrofes que producen estos vertidos en el mar.

Palabras clave: *hidrocarburos; dispersión de contaminantes; modelación de la calidad del agua*

1. Introducción

1.1 Efectos de la contaminación de hidrocarburos

Los derrames de hidrocarburos representan una fracción relativamente pequeña de la contaminación marina, alrededor de un 10%. Sin embargo, los daños al medio ambiente pueden ser muy importantes. El origen de este tipo de contaminación es variable y sólo el 10% del total de petróleo derramado en el mar es debido a accidentes de petroleros.

Los efectos de la contaminación por vertido de hidrocarburos en el medio marino son diversos, y el impacto depende principalmente de varios factores: si el vertido alcanza la costa, de si alcanza ecosistemas débiles, y si alcanza a poblaciones de animales sensibles. Es probable que un vertido importante en el océano tenga un impacto menor que un pequeño vertido cerca de la costa o de poblaciones de aves.

Estudios científicos existentes sobre los impactos de vertidos de hidrocarburos a causa de accidentes, demuestran que dichos vertidos pueden causar considerables pérdidas medioambientales en el área afectado por las altas concentraciones de hidrocarburos. La recuperación natural total del área tras este tipo de vertidos puede tardar entre una y dos décadas. Las pérdidas medioambientales causadas por un gran vertido no son irreversibles, no obstante, el impacto de la acumulación de vertidos de hidrocarburos puede aumentar el riesgo medioambiental, al ser las consecuencias desconocidas a largo plazo. Estudios llevados a cabo en el mar báltico muestran que los vertidos por operaciones de buques matan alrededor de 30.000 y 40.000 aves marinas, aunque en las poblaciones de aves más comunes, estas pérdidas no suelen representar un peligro a largo plazo. Sin embargo, para las poblaciones de aves menos comunes y que normalmente viven en un espacio restringido, estos vertidos sí pueden conllevar graves problemas para su supervivencia a largo plazo.

Además de a las aves, los vertidos por hidrocarburos pueden afectar a los ecosistemas costeros y marinos de otras maneras:

- Mortalidad e impactos a largo plazo en mamíferos y hábitats marinos
- Daños físicos a los ecosistemas marinos
- Daños a las reservas de acuicultura
- Asfixia y daños a la vegetación y biota intermareal

No es fácil predecir las consecuencias exactas de los vertidos de hidrocarburos en el mar, hay que tener en cuenta varios factores como su rápida expansión, el rápido alejamiento de las fuentes del vertido, y los cambios en la composición del hidrocarburo desde que es vertido al mar por procesos físicos, químicos y biológicos.

1.2 Comportamiento del vertido en el mar

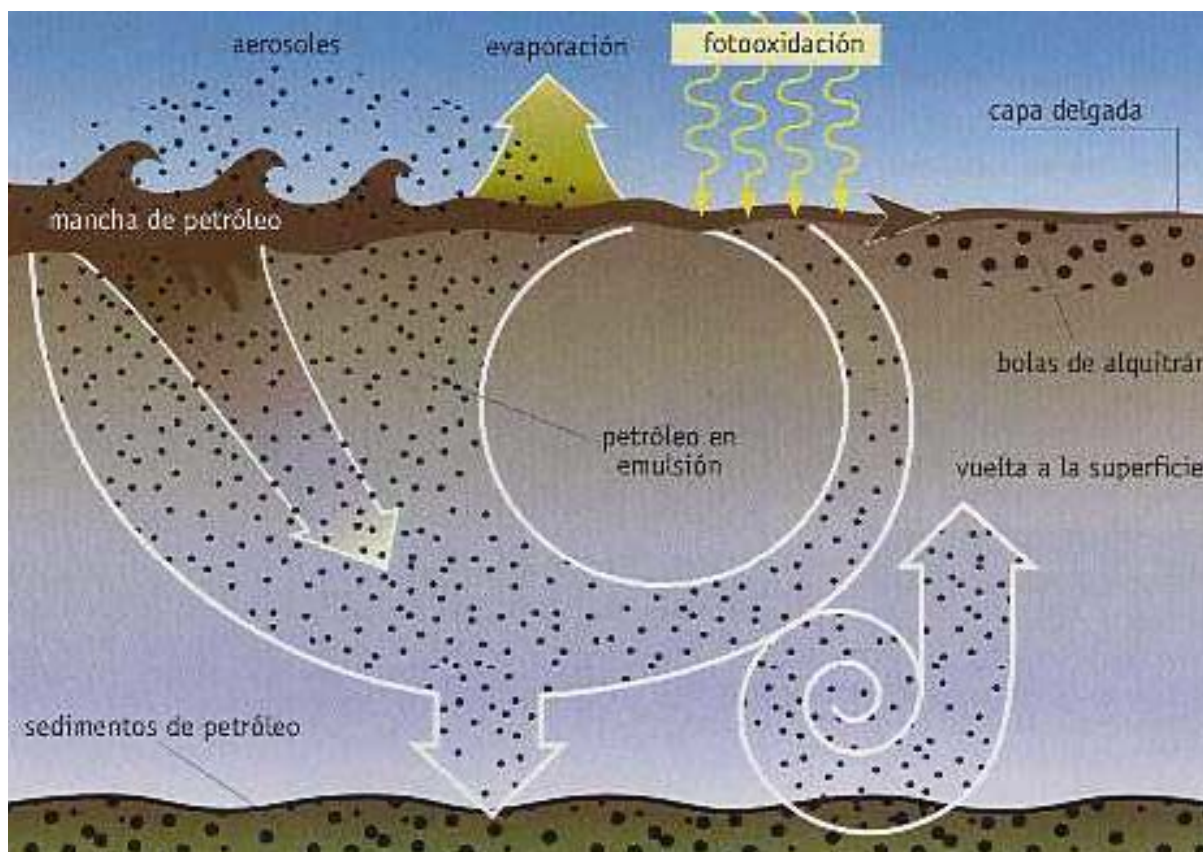
El petróleo es una mezcla compleja de cientos de compuestos, la mayoría de ellos hidrocarburos. Al producirse un vertido de hidrocarburo líquido al mar, este se expande por la superficie formando una fina capa, inferior a 0.1mm de espesor. Esta capa oleosa, se desplaza siguiendo la dirección del viento. La velocidad con la que la capa se extiende, y su espesor, dependen de las características del hidrocarburo y de la temperatura del mar. Los hidrocarburos ligeros se expanden más rápido formando una capa más fina que los hidrocarburos pesados. Poniendo como ejemplo el petróleo, un derrame de un metro cúbico puede llegar a formar, en hora y media, una mancha de 100m de diámetro y 0.1mm de espesor.

Una vez vertidos al medio marino, los hidrocarburos empiezan a transformarse. Sus propiedades físico-químicas evolucionan a lo largo del tiempo: es el llamado proceso de envejecimiento o degradación (Figura 1). El estudio de estos procesos resulta fundamental para poder conocer mejor este tipo de contaminación (Comerma 2004). Al entrar en contacto con el agua, los componentes de bajo peso molecular, más tóxicos de los hidrocarburos se evaporan. Estos hidrocarburos evaporados son descompuestos por fotooxidación en la atmósfera. Del resto del vertido que queda en el agua (de uno a dos tercios), parte sufre fotooxidación, y otra parte dispersión vertical, disolviéndose en la columna de agua inferior a la capa del vertido debido principalmente al efecto de las olas rompientes, las gotitas oleosas dispersas tienden a volver a la superficie o a ser redispersadas por las fuerzas de flotabilidad. Las gotas más grandes emergen enseguida, mientras que las gotas más pequeñas pueden ser transportadas por las corrientes lejos del lugar del vertido y permanecen dispersas durante semanas, provocando contaminación a kilómetros de distancia del punto de vertido.

Lo que queda forma una emulsión gelatinosa de agua y aceite que se convierte en bolas de alquitrán densas, semisólidas. Las condiciones de viento y la viscosidad del hidrocarburo son los factores más importantes para la formación de emulsiones, que pueden llevar a que el volumen de la emulsión cinco días después del derrame sea el doble del volumen derramado. Los vertidos de hidrocarburos también son afectados por la biodegradación, proceso extremadamente lento pero importante a largo plazo.

Cuando el hidrocarburo se adhiere a otros cuerpos, o forma partículas de densidad superior a la del agua, puede hundirse hasta el fondo en un proceso llamado sedimentación.

Figura1: Procesos de degradación de los hidrocarburos.



2 Objetivos

El objetivo principal es evitar cualquier tipo de vertido de hidrocarburos en el mar, pero en caso de que ocurra un accidente, se debe llevar a cabo una adecuada gestión de manera que las consecuencias del mismo sean lo menores posible. Por lo tanto, las consecuencias negativas que conllevan los derrames de este tipo, motivan inmediatamente a una preocupación que no sólo se refiere a la supervisión y el seguimiento, sino también la capacidad de predecir con eficacia el comportamiento del petróleo derramado en las horas posteriores al accidente.

El aumento de la capacidad de cálculo de los ordenadores y la existencia de complejas técnicas de simulación matemática han hecho posible que existan modelos hidrodinámicos y herramientas de software para realizar simulaciones gráficas, que permiten interpretar el estado actual y futuro de una zona de estudio concreto. El modelado numérico de vertido de hidrocarburos en el mar, permite entender y representar el comportamiento de los hidrocarburos derramados en el medio marino mediante ejercicios de predicción, que permiten actuar en casos de situaciones de crisis.

En este contexto, el modelado numérico conforma una poderosa herramienta mediante la cual es posible analizar el comportamiento de una sustancia contaminante en el medio receptor a través de la caracterización de los procesos físicos de transporte y difusión, así como de los procesos de transformación que experimenta (Sámano 2011)

En el presente estudio se realiza un análisis de MOHID, una herramienta para poder suministrar información descriptiva del estado actual del mar y que permite realizar un ejercicio de previsión continua de las condiciones del mar, en caso de vertido accidental.

3 Caso de estudio

La selección de un modelo numérico apropiado resulta una tarea compleja, puesto que estas herramientas, implican ciertas suposiciones o limitaciones y, pueden ser aplicadas únicamente por personal experimentado que conozca las teorías subyacentes. Por tal motivo, existen enormes carencias tanto en las expectativas, como en el entendimiento entre los creadores y los usuarios de un modelo (Chau, 2006).

En el caso de la contaminación por hidrocarburos, existen pocos modelos capaces de simular la complejidad de los procesos que tienen lugar una vez que se produce el vertido en el mar. Por un lado, los procesos que intervienen son complicados y todavía poco entendidos, dando un sistema de ecuaciones resultante complejo de resolver. Por otro lado, la información disponible es todavía insuficiente, en cuanto a los datos iniciales (caracterización de los productos del petróleo) y en cuanto los parámetros de ajuste de los modelos (validación de las simulaciones) (Espino et al., 2008).

3.1 MOHID

En este estudio se analiza el sistema de modelado MOHID, desarrollado por MARETEC (Marine and Environmental Technology Research Center) en el Instituto Superior Técnico (IST) de la Universidad Técnica de Lisboa. MOHID permite la adopción de una filosofía de modelación integrada, no solo de procesos físicos o biogeoquímicos, sino también de múltiples escalas y sistemas, permitiendo el uso de modelos anidados. La versión inicial de este sistema (Neves, 1985) fue un modelo bidimensional para la simulación de mareas, del cual se mantuvo el nombre "MOdelo HIDrodinâmico". El Sistema MOHID consiste en una herramienta capaz de simular problemas costeros complejos y flujos estuarinos (Neves, 1985, Martins et al. 2001, Coelho et al. 2002, Saraiva et al. 2007, entre otros).

MOHID está compuesto por diferentes herramientas: MOHID Water, MOHID Soil y MOHID Land, que permiten estudiar el ciclo del agua en un ambiente integrado, simulando procesos físicos y biogeoquímicos tanto en el agua como en los sedimentos.

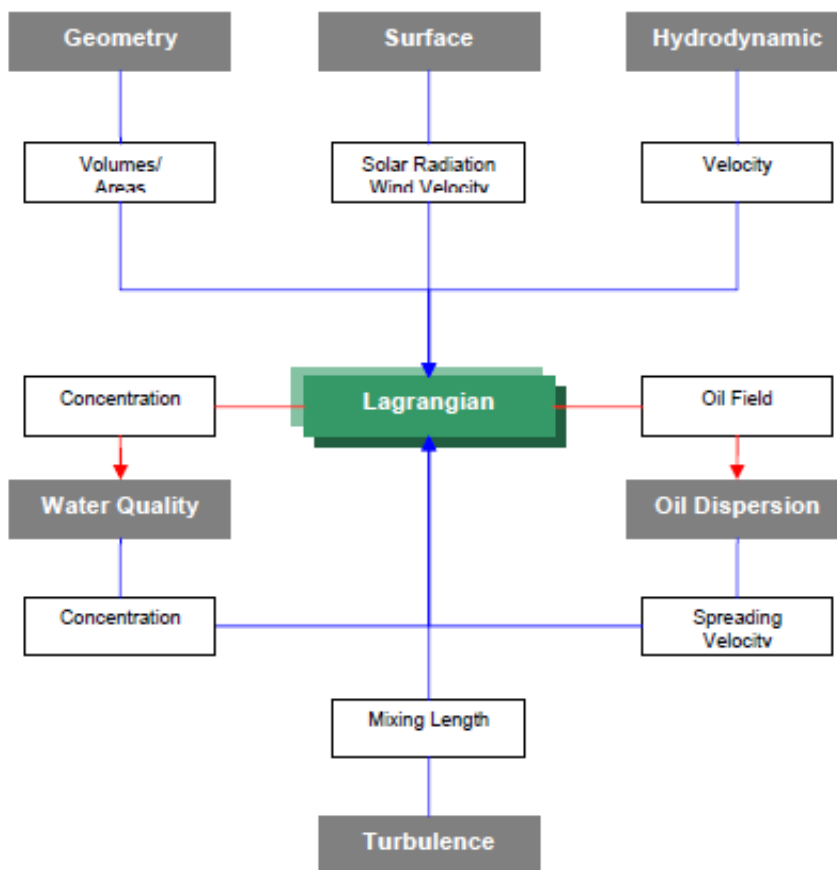
El modelo hidrodinámico MOHID plantea y resuelve las ecuaciones incompresibles en un sistema cartesiano asumiendo equilibrio hidrostático y la aproximación de Boussinesq. Las ecuaciones de balance de la masa y del momento se obtienen a partir del método de volúmenes finitos. En esta aproximación las ecuaciones se resuelven integrando en el espacio real sobre cada celda, las cuales pueden tener cualquier forma debido a que sólo se calculan los flujos entre celdas adyacentes.

La versatilidad del módulo hidrodinámico permite proponer esto como la única herramienta para simular el flujo en todos los lugares donde pueden ser desarrollados escenarios de accidentes de vertidos de hidrocarburos, independientemente de la complejidad de su geometría.

3.2 Módulo lagrangiano

Para calcular la dispersión de los hidrocarburos en el mar se emplea el módulo lagrangiano, que se basa en el concepto de trazador. La propiedad más importante de un trazador es su posición (x, y, z). Esto permite adaptar el modelo para la simulación de compuestos físicos, químicos, biológicos y geológicos. Los trazadores pueden adquirir las características de partículas diferentes, tales como masas de agua, o de hidrocarburos.

Figura 2: Flujo de información entre el módulo Lagrangiano y otros módulos de MOHID.



El movimiento de los trazadores puede estar influenciado por el campo de velocidad desde el módulo hidrodinámico, por el viento desde el módulo de superficie y por la velocidad de propagación desde el módulo de dispersión de hidrocarburos (Figura 2).

Actualmente el modelo es capaz de simular la dispersión de hidrocarburos, la evolución de la calidad del agua y el transporte de sedimentos. Para simular la dispersión de hidrocarburos el módulo lagrangiano interactúa con el módulo "oil dispersión".

3.2 Módulo de dispersión de hidrocarburos.

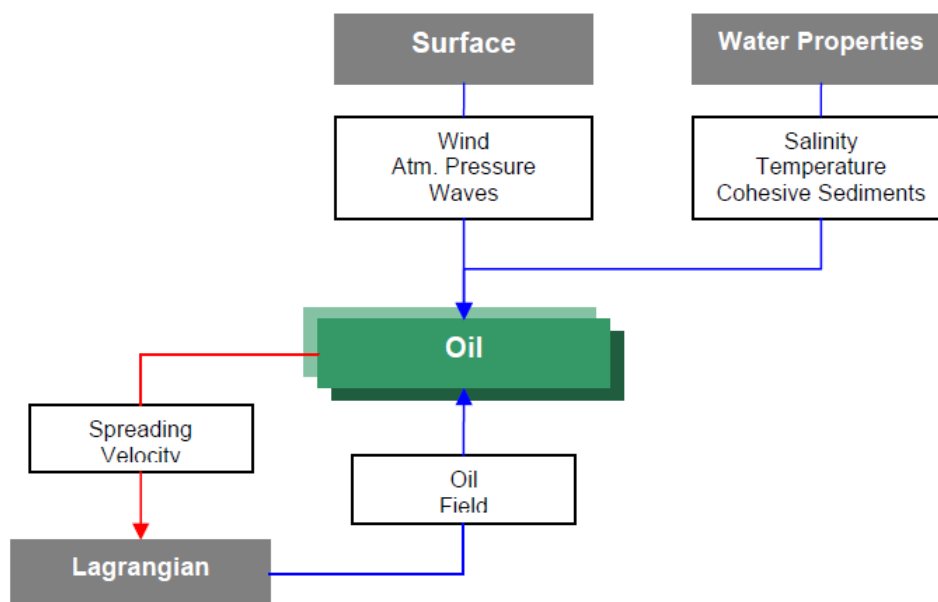
La predicción y simulación de la trayectoria y degradación de los vertidos de hidrocarburos son esenciales para el desarrollo de la lucha contra la contaminación y el desarrollo de los planes de contingencia, así como para la evaluación de estudios de impacto ambiental.

Con el fin de predecir el comportamiento de los productos derivados de los hidrocarburos que son vertidos en las zonas costeras, se desarrolló el módulo "oil dispersión", que predice la evolución, la degradación y las características del vertido.

La viscosidad y la densidad del petróleo además de muchos de los procesos de envejecimiento tales como: la difusión, la evaporación, la dispersión, la sedimentación, la dilución y la emulsión están incluidas en este módulo. También están integrados en este módulo algunos métodos de lucha contra la contaminación.

Diferentes métodos alternativos han sido codificados para la predicción de algunos procesos de degradación o envejecimiento ya comentados anteriormente (difusión, evaporación, sedimentación etc.) Por lo tanto, cuando se utiliza el modelo, hay más de una forma de simular el mismo proceso.

Figura 3: Flujo de información entre el módulo OIL y otros módulos de MOHID.



El módulo "oil dispersion", utiliza principalmente el módulo hidrodinámico en 3D y el módulo de transporte de Lagrange en 3D. El módulo hidrodinámico simula el campo de la velocidad necesaria para el módulo lagrangiano que permite calcular las trayectorias de petróleo (Figura 2). Estas trayectorias de petróleo se calculan suponiendo que los hidrocarburos

pueden ser idealizados como un gran número de partículas que se mueven independientemente en agua. Las propiedades del agua y las condiciones atmosféricas se introducen en el módulo lagrangiano y estas son utilizadas por el módulo “oil dispersión” para la determinación de los procesos de degradación y dispersión de los hidrocarburos. A excepción de la difusión, tanto los procesos de degradación como las características de los hidrocarburos se suponen uniformes para todos los marcadores, al igual que las propiedades del agua y las condiciones atmosféricas, que se consideran las mismas que las condiciones ambientales determinadas en el origen del accidente.

4 Conclusiones

Un derrame de petróleo, no importa lo pequeño que sea, siempre tiene consecuencias negativas. Estas consecuencias son principalmente importantes tanto a nivel ambiental como económico. La extensión de los efectos de tales accidentes depende de una serie de factores agravantes, como la cantidad y las características del hidrocarburo, la meteorología durante el accidente (viento, la agitación del mar, etc.), la época del año etc. Además de la contaminación ambiental que se produce en el área afectada por el vertido, otro factor a tener en cuenta son las pérdidas económicas que se generan, debido principalmente a las restricciones que se producen en la zona afectada tales como, la pesca, la explotación de los puertos y otras actividades puede traer graves consecuencias en la economía local.

Debido a su propia naturaleza, no existen muchos estudios científicos, ni investigaciones sobre las consecuencias de los vertidos de hidrocarburos, y sus efectos medioambientales en el medio marino. Sin embargo, una vez se han producido y localizado es necesario realizar una gestión adecuada. La prevención y la previsión deben plantearse como herramienta fundamental de apoyo a la toma de decisiones en accidentes de este tipo.

Hay varias razones que hacen que la simulación de los derrames de hidrocarburos muy complicada. Ya que los productos derivados del petróleo tienen cientos de composiciones diferentes, dando como resultado diferentes comportamientos en el agua difíciles de pronosticar. Además, tanto la trayectoria del petróleo como su envejecimiento viene determinado por diversas condiciones: datos meteorológicos, oceanográficos, y un conjunto de procesos físico-químicos estrechamente relacionados, que afectan a las propiedades del vertido a medida que se extiende por la superficie del mar (Figura 1). A menudo, la información relacionada con estas condiciones es difícil de conseguir, y la falta de datos de campo y de datos experimentales complica aún más la tarea a desarrollar.

Con el sistema de modelado hidrodinámico de MOHID es posible incluir las condiciones hidrodinámicas de la zona de estudio así como las características específicas del hidrocarburo. Otras ventajas que presenta el modelo es que es un software libre, y tiene una alta fiabilidad.

Por todo esto podemos concluir el módulo “oil dispersión” de MOHID es, una herramienta importante para las autoridades responsables de la lucha contra la contaminación marina ya que permite el análisis de los efectos de un posible accidente de vertido de hidrocarburos en un área determinada, así como en zonas de alto riesgo.

5 Referencias

- Adcroft A.J., Hill C.N., Marshall J.(1997), Representation of Topography by Shaved Cells in a Height Coordinate Ocean Model, *Mon. Weather Rev.* 125, 2293-2315.
- Chau, K. (2006). A review on the integration of artificial intelligence into coastal modelling. *Journal of Environmental Management.* 80, 47-57.

- Coelho, H. S., Neves R. J., White M., Leitão P. C. e Santos A. J. A circulation model for the western Iberia. *Journal of Marine Systems*.
- Comerma, E. (2004), Modelado numérico de la deriva y envejecimiento de los hidrocarburos vertidos al mar: aplicación operacional en la lucha contra las mareas negras. PhD Thesis, UPC.
- Espino M., Comerma M., Arcilla A., González M., Hernández M. (2008) La predicción de la contaminación marina por vertido de hidrocarburos en la ingeniería portuaria. " Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. p. 1.
- IST (Instituto Superior Técnico). Universidad Técnica de Lisboa. (2010). MOHID Water Quality Manual. Lisboa.
- Martins, F., Leitão, P.C., Silva, A. y Neves, R. (2001) 3D modelling of the Sado Estuary using a new generic vertical discretization approach, *Oceanologica Acta*, 24 (1), 51-62
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) <http://www.noaa.gov>
- Neves, R. J. J. (1985) - Étude Experimentale et Modélisation des Circulations Transitoire et Résiduelle dans l'Estuaire du Sado. Ph. D. Thesis, Univ. Liège
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) <http://www.noaa.gov>
- Sámano M.L. (2011) Desarrollo e integración de modelos numéricos de calidad del agua en un sistema de información geográfica. PhD Thesis, Universidad de Cantabria.
- Siguero A. (2010) modelado numérico del comportamiento de los vertidos de hidrocarburos vertidos al mar. Proyecto o tesina d'especialitat. UPC.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Marina Corral Bobadilla
Área de Proyectos de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.
Universidad de La Rioja
Edificio Departamental - C/ Luis de Ulloa, 20
26004 Logroño, La Rioja
Phone: + 34 941 299 274 / 651 56 9214
Fax: + 34 941 299 794
E-mail: marina.corral@uniroja.es
URL : <http://www.uniroja.es>