

Un modelo matemático para descontaminar el mar

El **Grupo de Investigación MOMAT del Instituto de Matemática Interdisciplinar & Departamento de Matemática Aplicada** de la Universidad **Complutense**, en colaboración con la Universidad Nacional Autónoma de México, ha desarrollado un



Figura 1-Aspirador Flotante Controlado (AFC) fabricado por la empresa Novetec para la limpieza de petróleo en alta mar.

modelo matemático capaz de predecir el movimiento de las manchas de petróleo en el mar. A partir de una serie de datos como la velocidad y dirección del viento y de las corrientes marinas los científicos complutenses **Benjamín Ivorra** y **Ángel M. Ramos**, junto con **Susana Gómez** (UNAM-México) han logrado simular el movimiento de las manchas facilitando la labor de limpieza de los barcos encargados de atajar los derrames de petróleo en el mar. El vertido de petróleo en el mar es uno de los problemas más importantes de contaminación, ya que

afecta al eco-sistema. Aunque hay pocos casos de contaminación a gran escala, hay zonas marítimas en el planeta que reciben vertidos continuos. Por todo ello la investigación y la generación de tecnología para prevenir y para limpiar estas manchas es de gran importancia.

El objetivo de este trabajo es mejorar el rendimiento de los barcos equipados con bombas para aspirar el petróleo (*conocidos como 'skimmers'*).

El objetivo del trabajo es mejorar el rendimiento de los barcos equipados con bombas para aspirar el petróleo

El método considerado genera una trayectoria para que el barco bombee la mayor cantidad posible de petróleo en un

tiempo determinado. En este trabajo ha colaborado la empresa española Novetec (<http://novetec.com>).



Figura 2-Combinación del sistema AFC en un barco.

es) que fabrica un dispositivo llamado Aspirador Flotante Controlado (AFC) para limpiar petróleo en alta mar que puede ser instalado en diferentes

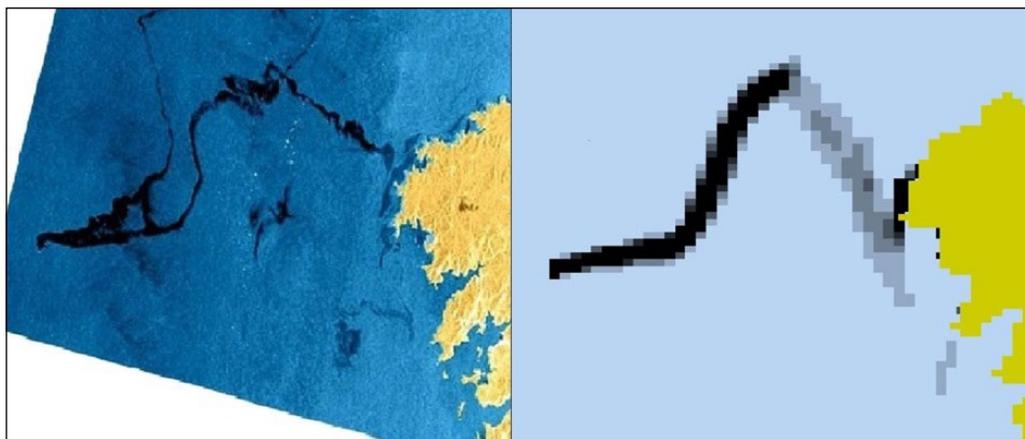


Figura3- A la izquierda imagen del satélite ENVI-SAT tomada el día 17 de Noviembre del 2002 sobre la mancha de petróleo del Prestige en las costas de Galicia. A la derecha el resultado de la simulación de la distribución de la mancha de petróleo obtenido con nuestro modelo matemático en la misma fecha.

tipos de barcos.

Los autores del trabajo han desarrollado un modelo matemático en forma de ecuaciones, que reproduce el movimiento de las manchas de petróleo derramado dentro de un área de estudio durante un periodo de tiempo considerado. Este movimiento está provocado principalmente por dos efectos: la difusión del contaminante en el agua del mar y el transporte debido al viento y a las corrientes superficiales marinas. La solución de dichas ecuaciones nos proporciona la cantidad de petróleo en cada punto de la zona de estudio y en cada instante de tiempo. Una forma de obtener esta solución es usando métodos numéricos programados en ordenadores de alto

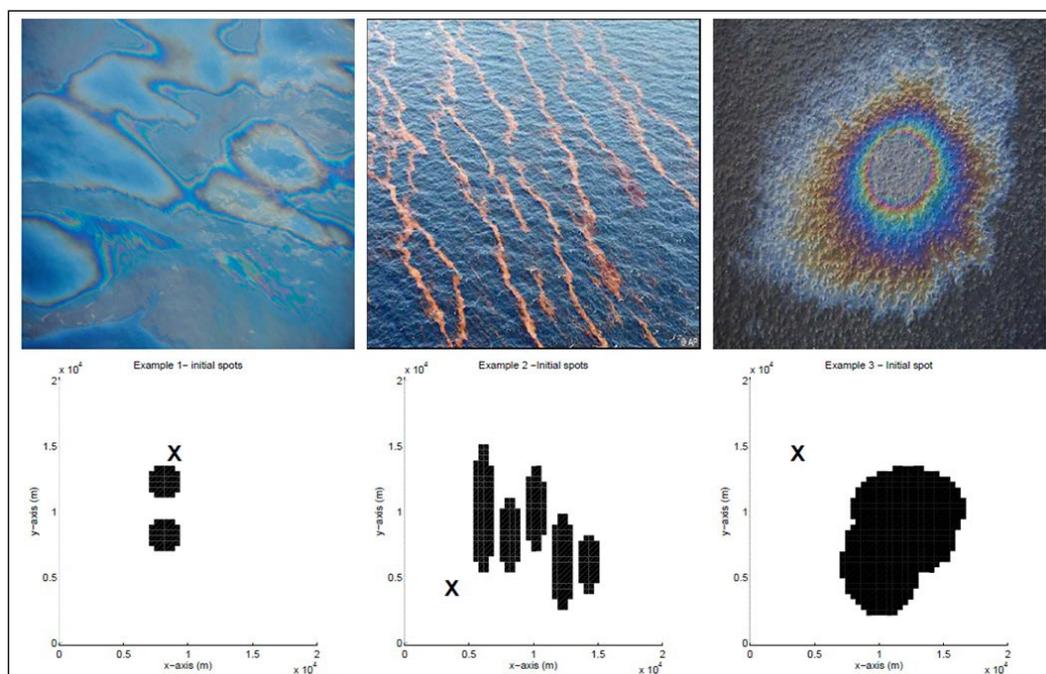
rendimiento. En este trabajo se ha usado el llamado método de volúmenes finitos, que divide la zona de estudios en rectángulos y calcula el intercambio de la cantidad

Este modelo genera una trayectoria para que el barco bombee la mayor cantidad posible de petróleo

de petróleo entre cada rectángulo a cada intervalo de tiempo. Es necesario también conocer cómo varía

el viento y la corriente marina superficial (su velocidad y dirección), en cada intervalo del tiempo, e incorporar esta información en la ecuación. Con esto se produce un programa computacional que

Figura 4- Arriba fotografías reales de manchas de petróleo usadas para crear casos sintéticos. Abajo, estado inicial de los tres problemas sintéticos inspirados en las fotografías anteriores. La cruz representa la posición inicial del barco, mientras que la mancha de petróleo va en negro.



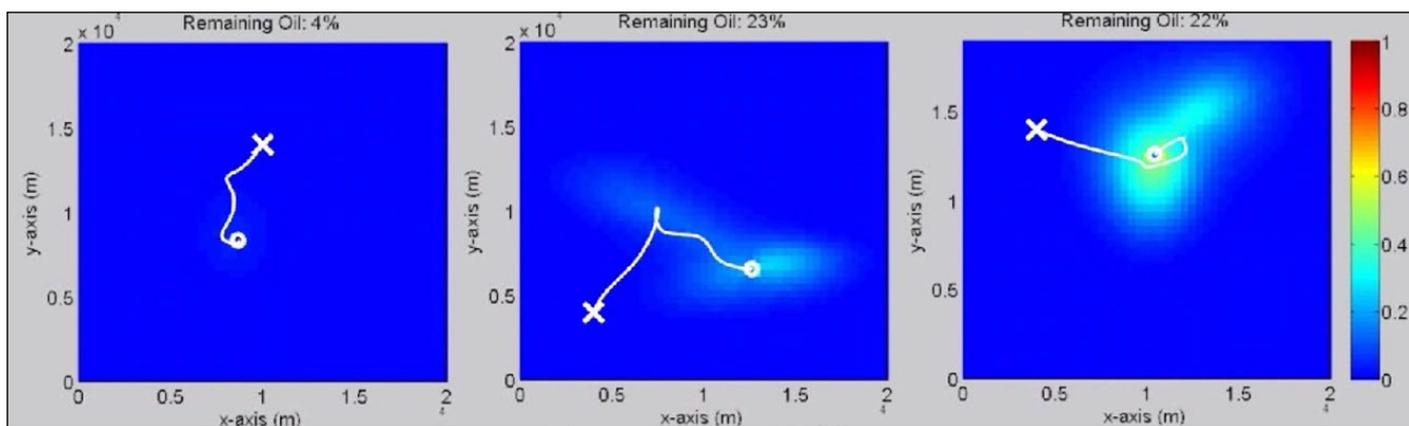


Figura 5- Soluciones de las trayectorias óptimas encontradas considerando los tres casos sintéticos presentados en la Figura 4. La trayectoria óptima está presentada en blanco, la cruz y el círculo representan la posición inicial y posición final del barco, respectivamente. También se representa la concentración final de la mancha con el mapa de colores.

permite simular el movimiento de las manchas. Con el fin de ilustrar la precisión que se logra con este programa de cómputo, han estudiado el caso del derrame del PRESTIGE ocurrido en las costas de Galicia en Noviembre de 2002. La figura 3-Izquierda ofrece una imagen de la situación de este accidente tomada por el Satélite ENVISAT (con la autorización de la 'European Space Agency' www.esa.int) el 17 de Noviembre, 4 días después del inicio del vertido (13 de Noviembre). En la figura 3-derecha observamos la imagen que produce este programa de cómputo para el periodo del 13 al 17 de Noviembre a partir de los datos de viento y de corrientes marinas proporcionados por Mercator Ocean (<http://www.mercator-ocean.fr/>) y la Agencia Estatal de Meteorología (<http://www.aemet.es/>). Se observa en estas figuras cómo este modelo matemático es capaz de reproducir adecuadamente el movimiento de la mancha en el caso de manchas reales como las del PRESTIGE.

El modelo matemático es capaz de reproducir adecuadamente movimientos de manchas reales como las del PRESTIGE

Para poder estudiar el efecto de un barco que sigue una trayectoria y bombea el petróleo, dentro de sus límites técnicos, es necesario incluir en las ecuaciones del modelo el efecto de la bomba. Durante este trabajo de investigación, se trataba de

encontrar la 'mejor trayectoria' que debe seguir el barco, para que pueda extraer lo más posible en un periodo de tiempo fijo. Para ello los autores del trabajo usaron métodos matemático-computacionales llamados de optimización. Los métodos de optimización desarrollados (por ejemplo, la plataforma de optimización global GOP: <http://www.mat.ucm.es/momat/software.htm>) han permitido mejorar la forma de la trayectoria del barco teniendo en cuenta el modelo matemático presentado anteriormente. De este modo la mejor trayectoria se encontrará de forma automática y se adaptará al movimiento de la mancha.

A continuación se presentan en la Figura 4 tres casos teóricos de manchas, creadas a partir de fotografías de casos reales. En la Figura 5 se muestran las gráficas de las trayectorias óptimas, obtenidas con este programa computacional. En la actualidad estos científicos están abordando el estudio de la optimización de varios barcos bombeando petróleo de forma simultánea.

Agradecimientos. Este trabajo se ha realizado en el marco del programa "Modeling, Analysis, Control and Simulation in Science and Engineering" del Instituto de Matemática Interdisciplinar (IMI) de la UCM y del proyecto PAPIIT-UNAM IN 100214. Se agradece el apoyo ofrecido para este trabajo por parte del Ministerio de Economía y Competitividad, a través del proyecto de investigación MTM2011-22658, de la Agencia Espacial Europea, de Mercator Ocean y de la Agencia Estatal de Meteorología a través de los proyectos números 14161, 2012_130/NCUTD/59 y 990130301, respectivamente. También se resalta el apoyo de Puerto de Estados y de la empresa Novetec.