

Integración de observaciones remotas y modelos hidrodinámicos para el estudio de la dispersión de contaminantes en el mar

J. Pérez-Marrero*, L. Maroto*, O. Llinás*, M. J. Rueda*, A. Tejera**, J. Godoy* y C. Barrera*
jpmarrero@iccm.rcanaria.es

* *Instituto Canario de Ciencias Marinas (ICCM). Dpto. de Oceanografía.
Apdo. 56. 35200 Telde. Gran Canaria*

** *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC). Dpto. de Física.
35017 Las Palmas de Gran Canaria*

RESUMEN

Se presenta la aplicación de un sistema integrado de monitorización por teledetección a la planificación de acciones preventivas y mitigativas frente a eventuales derrames de sustancias tóxicas o peligrosas en el océano. La información, que es proporcionada mayoritariamente por los sensores remotos, se utiliza para alimentar diversos modelos numéricos de transporte y de transformación de hidrocarburos por acción del medio marino. La base de datos histórica permite la generación de escenarios realistas para las simulaciones, cuyos resultados pueden ser comparados (y en cierta medida validados) usando de nuevo la base de datos (diagnósticos).

PALABRAS CLAVE: teledetección, vertidos marinos, modelos numéricos hidrodinámicos, estrategias de prevención.

ABSTRACT

A remote sensing based system for ocean monitoring is combined with hydrodynamical models in order to contribute to the planning of mitigative efforts against oil spills. Remotely sensed information, is adequated to serve as inputs for the models, while model results are integrated to the satellite database. Using a long term database spill scenarios are generated and results are compared to situations within the database.

KEY WORDS: remote sensing, oil spills, hydrodynamical numerical models, preventive strategies.

INTRODUCCIÓN

El proyecto SEXCODE-H financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia en la convocatoria 'Acción Especial contra Vertidos Marinos de 2003' tiene como objetivo genérico desarrollar y mantener una estrategia de monitorización y de respuesta en tiempo real frente a derrames de hidrocarburos en el medio marino. Para ello se ha desarrollado un sistema integrado que utiliza de manera coherente toda la información ambiental disponible sobre áreas concretas. Actualmente se ha implementado para el entorno oceánico de la Macaronesia, aunque puede trasladarse fácilmente a cualquier otra localización. Se ha pretendido que este sistema sea capaz de contribuir a la seguridad en las operaciones navales así como la protección de los ecosis-

temas marinos, dado que ambos son requisitos fundamentales para la sostenibilidad de la actividad del sector industrial y también del sector turístico.

En este sistema se combinan herramientas de monitorización y vigilancia, mediante teledetección y medidas *in situ*, con modelos numéricos de circulación marina, de previsión de estado de la mar y de alteración físico-química de los contaminantes. Esta combinación de técnicas, en condiciones 'operativas', puede llegar a ser una de las metodologías más eficaces en la gestión de alertas ambientales derivadas de las actividades de la industria petrolera y en general del tráfico de sustancias peligrosas a bordo de buques. Para cumplir estas expectativas tanto la información suministrada como los resultados deben ser debidamente contrastados con datos externos, por lo que dentro del proyecto SEXCODE se ha

dado importancia a las tareas de validación tanto de las observaciones como de las estimaciones.

La observación continuada y actualizada (monitoreo) junto con el empleo de modelos, pronósticos y diagnósticos, son los pilares fundamentales sobre los que se asienta la oceanografía operacional, es decir, la que puede proveer información útil sobre fenómenos oceánicos y sus posibles efectos, en el tiempo y forma adecuados. En este trabajo se muestra el papel de la teledetección como suministro de información para un modelo hidrodinámico que permite el estudio de transporte de sustancias en el medio marino. Con los resultados se evalúan los efectos de los pequeños derrames derivados de la actividad naval en las proximidades de un puerto con tráfico intenso.

En el desarrollo de SEXCODE se ha seguido un enfoque que va desde el problema: detección del derrame -sumergido o superficial-, a la estrategia de respuesta, adaptándose en cada caso a las circunstancias particulares (disponibilidad de información) en las que transcurre el evento, frente al enfoque tradicional en el que se diseñan herramientas sin atender a un fin específico. Para ello se dispone de una amplia base de conocimiento.

MATERIAL Y METODOS

Monitorización: Detección y evaluación de los derrames

Los radares de apertura sintética (SAR) instalados a bordo de satélites o de aviones, son capaces de detectar los derrames de hidrocarburos, dado que por su acción surfactante atenúan la rugosidad de la superficie marina, propiciando áreas en las que disminuye la señal de radar (Figura 1). Utilizando imágenes SAR se pueden hacer estimaciones de la cantidad vertida y del coeficiente de dispersión de la sustancia (Platonov y Redondo, 2002). Sin embargo, esta técnica presenta algunas limitaciones de cara a su utilización operacional que son básicamente las siguientes: La cobertura espacial y temporal es a menudo insuficiente si la comparamos con otros sistemas de observación de la Tierra. Aunque existen métodos para el cálculo de extensión de las manchas, su interpretación está basada en apreciaciones subjetivas del analista, dado que es éste quien debe discernir si las señales son producto de derrames o de fenómenos naturales (bioslicks) que producen señales análogas. Además la posibilidad de ser detectado en imágenes SAR está reducida a un rango de velocidades de viento.

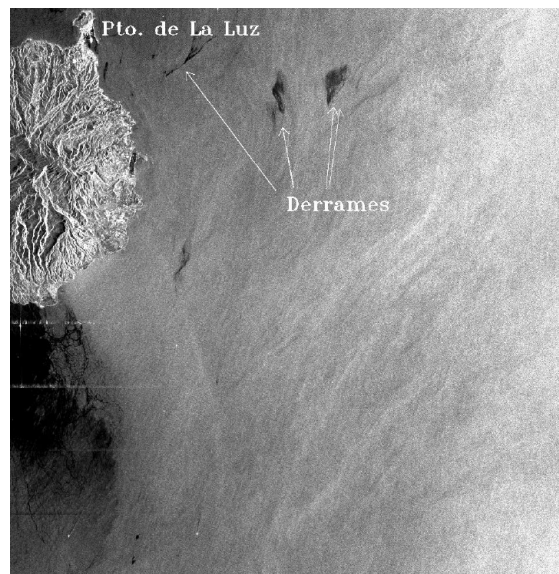


Figura 1. Escena SAR captada por el satélite ERS2 de la ESA, en la que se pueden apreciar al menos tres manchas de surfactante.

Para reducir las limitaciones de la teleobservación SAR anteriormente mencionadas, resulta útil complementar dichas observaciones con otras al objeto de minimizar las incertidumbres y reducir la carga de análisis visual. Esta información complementaria va a dar cuenta de las condiciones físicas en el momento de la lectura, y la proporcionan fundamentalmente otros sensores activos y pasivos instalados a bordo de satélites, dado que, por sus características de operación, son los instrumentos que ofrecen la mayor cobertura espacial y temporal y que además tienen un coste reducido si lo comparamos con el uso de aviones y barcos para la vigilancia.

Para llevar a cabo la gestión de la información SEXCODE cuenta con el sistema de monitorización oceánica multiescala SIMOM (Pérez-Marrero *et al*, 2005). Este sistema de monitorización es multiparamétrico admitiendo datos de varios sensores activos y pasivos y medidas *in situ*; y multiescala, abarca desde la cuenca Atlántica a nivel climatológico hasta la mesoescala de los archipiélagos macaronésicos. A través de SIMOM se llevan a cabo las tareas de: selección, extracción, procesado, generación y gestión de una base de datos homogénea y comprensible de productos geofísicos. También está dotado de interfases para adaptar los datos de teledetección de manera que puedan ser ingeridos por diversos modelos numé-

J. Pérez-Marrero, L. Maroto, O. Llinás, M. J. Rueda, A. Tejera, J. Godoy y C. Barrera

ricos. Del mismo modo, los resultados de esos modelos son asimilados por SIMOM. Se crea así una serie temporal multiparamétrica que resulta útil para la generación de escenarios realistas y también para la verificación de las simulaciones.

En la actualidad, se han desarrollado interfases con diversos tipos de modelos. En el contexto del proyecto SEXCODE se usan concretamente los siguientes: Modelo hidrodinámico GNOME desarrollado por NOAA (NOAA, 2002) para la predicción de la trayectoria de derrames de hidrocarburos. El modelo ADIOS2 (NOAA, 1999) se utiliza para evaluar los procesos de envejecimiento (weathering) en función de las condiciones ambientales suministradas por SIMOM y las propiedades físico-químicas de mas de 1000 variedades de hidrocarburos. Para la predicción de trayectorias de objetos sólidos (contenedores, embarcaciones, ...) se usa el modelo desarrollado para el proyecto PREVIMAR (Alves *et al.*, 2002). El sistema está dotado de una interfase para incorporar predicciones meteorológicas elaboradas por el Instituto Nacional de Meteorología.

SEXCODE incorpora también una interfase con el modelo ORBITRON (Stoff, 2005) de previsión de pases, que permite conocer con antelación la cobertura satelital de áreas concretas. Este módulo es de especial utilidad con las imágenes SAR dado que debido a su coste económico no se adquieren de forma rutinaria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Previsión de la evolución a corto plazo de vertidos. Evaluación de riesgos

Las bases de datos de SIMOM y los servicios de distribución operacional de datos de satélite, permiten elaborar una base de conocimiento de la que se extraen escenarios realistas (tanto para diagnóstico como para prognosis) y una serie de reglas para la selección y la correcta interpretación de los datos. A continuación se ofrece un ejemplo diagnóstico.

Consideremos un caso que a menudo se observa en las proximidades de los grandes puertos (Figura 1). La intensa actividad naval que se desarrolla en

las zonas próximas a puertos como el de La Luz en la isla de Gran Canaria, hace que sea frecuente la detección de derrames en sus proximidades como se aprecia en esta imagen SAR de ERS-2. Basandonos en la situación mostrada en esta imagen, se pretende evaluar la incidencia de estos pequeños derrames sobre el litoral.

Se ha generado un escenario para diagnóstico cubriendo todas las situaciones para los meses de julio, agosto y septiembre de 2004. Los datos empleados corresponden a todos los pases para dicho periodo del dispersómetro de vientos a bordo del satélite QUIKSCAT de NOAA (Dunbar *et al.*, 2000), la estimación de la velocidad de la corriente elaborada por el grupo AVISO a partir de la integración de los datos procedentes de varios altímetros, y la temperatura superficial del mar obtenida para todo el periodo a partir de las imágenes AVHRR diurnas. Sobre estos escenarios se ha derramado una cantidad estándar de sustancia sobre la posición más alejada de tierra (28.18°N, 14.63°W), y se ha simulado su evolución usando el modelo GNOME.

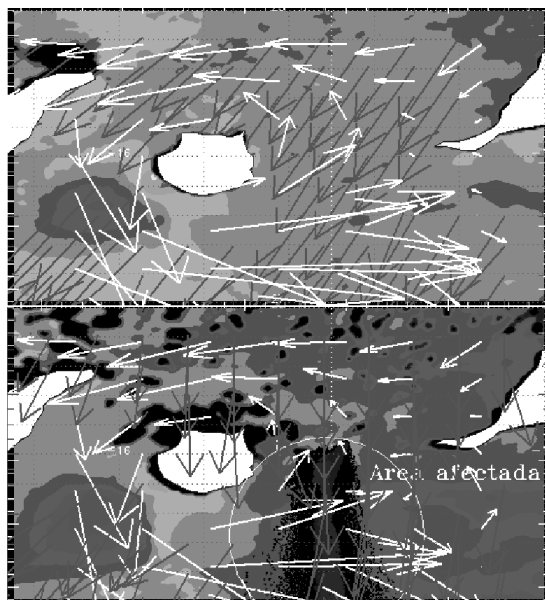
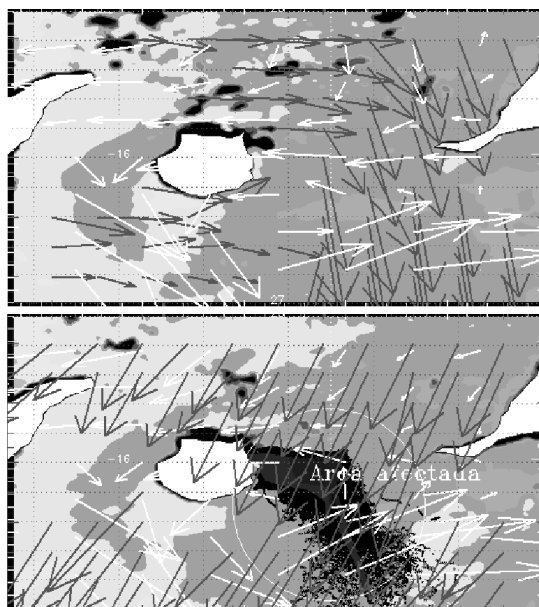


Figura 2. Condiciones iniciales y finales para la simulación del 8 al 14 de julio de 2004. Se ha representado la TSM en color, la velocidad de la corriente (flechas blancas) y la velocidad del viento (flechas oscuras) (ver cuadernillo de color).

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

Este vertido se ha repetido para diferentes momentos del periodo de estudio. Para capturar la variabilidad de respuestas las simulaciones se han llevado a cabo en distintas condiciones. El coeficiente de difusión turbulenta se ha variado en 3 órdenes de magnitud entre 100 y 10000 $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$. Los coeficientes de arrastre por el viento se han variado entre el 3 y el 6%. A partir de las trayectorias calculadas por el modelo se ha hecho un balance de masas determinando el porcentaje de sustancia que arriba a playas después de 6 días de simulación, así como el tiempo en horas transcurrido entre el derrame y la llegada a tierra. La simulación se ha llevado a cabo suponiendo una sustancia inerte.

En la Figura 2 (panel superior) se presentan las condiciones iniciales de temperatura, velocidad de la corriente y del viento para el 8 de julio de 2004, fecha de la primera simulación. De esta imagen se han extraído (Tabla 1) a modo informativo los valores en las posición aproximada del derrame (28.18°N, 14.63°W). Tras seis días el escenario queda como se aprecia en la Figura 2 (inferior), como se aprecia bajo estas condiciones, el derrame no afectaría a las costas canarias, dispersándose en dirección Sur.



*Figura 3. Condiciones iniciales y finales para la simulación del 8 al 14 de agosto de 2004 (análoga de la Figura 2; * ver cuadernillo de color).

Fecha	SST(°C)	Int.V (m s^{-1})	Dir V	Int. C. (cm s^{-1})	Dir. C
8-7	20.4	5.46	(NE)	6.7	(ENE)
14-7	19.9	3.84	(N)	2.9	(ESE)
8-8	21.7	3.61	(NW)	11.2	(W)
14-8	21.9	4.63	(NE)	6.2	(NW)

Tabla 1. Valores de los diferentes parámetros en el punto de vertido al comienzo y final de cada simulación. La dirección expresa de dónde viene el viento y hacia dónde va la corriente.

La Figura 3 representa la situación para el mismo derrame si se hubiera producido el 8 de agosto del mismo año. Para las condiciones de este nuevo periodo el modelo hidrodinámico prevee una varada entre el 44 y el 100% del material vertido, dependiendo fundamentalmente del coeficiente de arrastre del viento, y en menor medida de las propiedades físicas del material (Tablas 2 y 3).

En este ejemplo diagnóstico se ha podido comprobar la importancia del conocimiento detallado y con resolución temporal adecuada, de los factores que controlan el transporte del material contaminante. De cara a una aplicación operacional (prognóstica) el sistema necesita contar con datos predictivos tanto del viento como de la corriente. En el contexto de SEXCODE, el sistema puede realizar

simulaciones en base a las predicciones meteorológicas. Las predicciones de corrientes solo pueden hacerse, por el momento, en base a modelos autorregresivos.

Coef. Disp. ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$)	T1 (horas)	Playa (%)
100	120	44.1
1000	120	56.2
10000	110	39.9

Tabla 2. Resultados del modelo de dispersión para el periodo entre el 8 y el 14 de agosto de 2004, para un coeficiente de arrastre del viento de 6% y diversos valores del coeficiente de dispersión del contaminante, indicando el tiempo de arribada a playa (T1), y el % de material que llega a tierra.

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

J. Pérez-Marrero, L. Maroto, O. Llinás, M. J. Rueda, A. Tejera, J. Godoy y C. Barrera

Coef. Disp. ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$)	T1 (horas)	Playa (%)
100	120	100
1000	118	98
10000	108	83

Tabla 3. Idem Tabla 1 para un coeficiente de arrastre por viento del 3%.

Sobre los resultados expresados en las Tablas 2 y 3 deben aplicarse coeficientes correctores por evaporación y dispersión. Así por ejemplo, en las condiciones ambientales representadas por el segundo escenario, el modelo de envejecimiento ADIOS2, predice una evaporación y dispersión del 60% aproximadamente, para un hidrocarburo tipo diesel, que fuese derramado a una temperatura igual a la TSM en ese momento, con lo que solo el 40% del total del material vertido quedaría en el agua o arribaría a la playa en ese caso.

CONCLUSIONES

Se ha presentado un sistema integrado que en su estado actual contribuye a la planificación de las actividades de mitigación frente a eventuales derrames de hidrocarburos en el medio marino. También puede contribuir a evaluar las amenazas que las actividades offshore ejercen sobre el medio litoral. Otras aplicaciones posibles incluyen su uso para aplicaciones de salvamento marítimo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha llevado a cabo gracias al soporte financiero del Ministerio de Educación y Ciencia, proyecto SEXCODE-h ref vem 2003-20567- Inter.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVES, M., F. GAILLARD, M. SPARROW, M. KNOLL y GIRAUD, S. 2002. Circulation patterns and transport of the Azores Front-Current system. *Deep-Sea Res. Part II* 49, 3983-4002.
- AVISO. 1998. Aviso User handbook: Sea level anomaly. AVI- NT-011-312- CN.
- DUNBAR, R. S. y PERRY, K L. 2000. *QuikSCAT Science data product user's manual, ver 1*. JPL document D-18053. Jet Propulsion Laboratory, Paedena.
- NOAA. 1999. Automated data inquiry for oil spills (ADIOS2). NOAA Hazardous Materials Response and Assessment Division.
- NOAA. 2002. General NOAA oil modelling environment (GNOME) User's Manual. NOAA Hazardous Materials, Response and Assessment Division.
- PÉREZ-MARRERO, J., LLINÁS, O., MAROTO, L., CARDONA, L., RUEDA, M. J, BARRERA, C. y VILLAGARCÍA, M. 2005. Una herramienta para la fusión de datos oceanográficos obtenidos mediante satélites. En *Teledetección Avances en la Observación de la Tierra*, M. Arbelo, A. González y J. C. Pérez Eds. AET, Tenerife, pp. 167-170.
- PLATONOV, A. y REDONDO, J. 2002. Zipfs law application to oil spill detection in the ocean. *Geophys. Res. Abstracts* 4: 6001-6002.
- STOFF, S. 2005. ORBITRON Satellite Tracking System. (<http://www.stoff.pl>).