

## PLAN DE VIGILANCIA Y CONTROL AMBIENTAL DE INCIDENTES CONTAMINANTES EN EL OCÉANO ATLÁNTICO CON INFLUENCIA EN LA ZONA MARÍTIMA CANARIA CON USO DE SIMULACIÓN NUMÉRICA Y MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN

Clara Pintado Gorordo

El proyecto resumido en el presente artículo muestra la necesidad de implantar planes de prevención y actuación frente a incidentes contaminantes en la zona marítima canaria utilizando modelos de predicción y optimización que aseguren el éxito de aplicación de los mismos. Gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías y avances científicos, podemos simular en tiempo real cómo evolucionará un vertido de hidrocarburo que se desplace en la zona marítima canaria. De esta manera, se optimizan las decisiones y los recursos, se minimiza el impacto ambiental en las costas canarias y se mitigan los perjuicios a la sociedad y economía canaria.

*The project summarized in the current paper shows the necessity of establishing prevention and mitigation plans against contamination incidents in the Canary maritime zone. It proposes prediction and optimization models that assure the success of this application. Thanks to the development of new technologies and scientific advances, we can simulate in real time how an oil spill would evolve and its impact in the Canary maritime zone. The main purpose is to optimize the decisions and resources in order to minimize oil spills impact and damages in the Canary society and economy.*

### INTRODUCCIÓN

Los continuos accidentes de buques y petroleros que se producen y amenazan indistintamente cualquier línea de costa del planeta ponen de manifiesto la necesidad de contar con un mayor control de los medios de transporte de crudo y de cualquier sustancia peligrosa. Para ello es necesario no solo defender que se cumplan los Acuerdos y Convenios Internacionales, sino también establecer planes de vigilancia y acción para, en caso de accidente, estar preparados y alerta, minimizando así los efectos negativos sobre el medio.

El número de toneladas vertidas de forma accidental al medio marino ha ido disminuyendo a lo largo de las últimas décadas del siglo XX. Aun así, casos como el

Los continuos accidentes de petroleros ponen de manifiesto la necesidad de establecer planes de vigilancia y acción para estar preparados en caso de accidente

AÑOS	CANTIDAD
Años 70	3.126.000 Tn
Años 80	1.083.000 Tn
Años 90	1.101.000 Tn
2000	12.000 Tn
2001	8.000 Tn
2002	81.000 Tn
<b>TOTAL</b>	<b>5.411.000 Tn</b>

**Tabla 1:** Cantidad de fuel vertida accidentalmente al medio marino

Sea Empress (Puerto de Milford Haven, Reino Unido, 1996), el Khark 5 (400 millas náuticas de las Islas Canarias, España, 1989) o el más reciente y cercano del Prestige en las costas gallegas nos recuerdan que debemos tener presente la gran amenaza que supone este comercio para evi-

tar o minimizar cualquier daño a nuestro entorno y, por tanto, a nosotros mismos.

Los derrames de hidrocarburos al mar se deben principalmente al vertido de los residuos de las sentinas de los buques, a las operaciones de los petroleros, a los accidentes marítimos, a las operaciones en terminales, a las plataformas y en menor medida a los producidos en los astilleros y desguaces.

Este proyecto surge motivado por la necesidad de dotar, tanto en el ámbito de la prevención como en el de la acción, de las herramientas necesarias de protección ante cualquier derrame que se produzca en el Océano Atlántico con influencia en la zona marítima canaria. Estas medidas evitarán, en lo posible, un daño al medio terrestre y marino canario, principal reclamo turístico, que es el motor de la economía canaria. Las islas se caracterizan por presentar importantes singularidades que le han llevado a proteger el 40% de su superficie terrestre y a dotar a las aguas canarias de distintas figuras de protección (LIC, Reservas Marinas de Interés Pesquero, Zona Marítima de Especial Sensibilidad, etc.).

Es importante señalar que el hidrocarburo no es la única sustancia peligrosa que se transporta por vía marítima. Existe un buen número de componentes químicos agrupados por la Organización Marítima Internacional (IMO) según el tipo de transporte:

- Transporte de productos a granel: productos químicos (ácido sulfúrico, fosfórico, nítrico, clorhídrico, sosa caústica y amoníaco); melaza y alcoholes; aceites vegetales (soja, palma, girasol, etc.) y animales (cerdo, pescado, etc.); productos petroquímicos (benceno, xileno, fenol, estireno,

etc.), y productos de alquitrán de hulla, benceno, fenol naftaleno, etc.

- Transporte de productos en contenedores: explosivos, gases peligrosos; líquidos inflamables; sólidos inflamables; materias combustibles, sustancias oxidantes y peróxidos orgánicos; materias tóxicas e infecciosas; materias radiactivas; materias corrosivas, y materias y objetos peligrosos diversos.

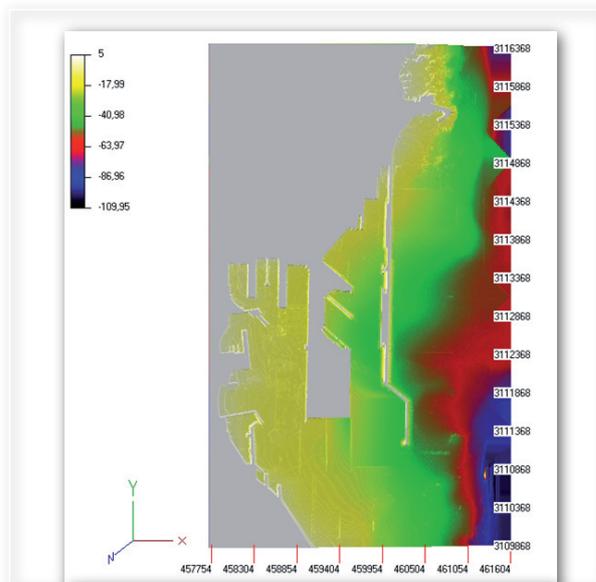
### SOFTWARES DE EVOLUCIÓN DE VERTIDOS E IMPACTOS EN COSTAS

El equipo de I+D Computación Evolutiva y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (CEANI), dirigido por Gabriel Winter y Blas Galván, perteneciente al Instituto Universitario de Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (IUSIANI), ha desarrollado una serie de programas para determinar la evolución de las trayectorias de los vertidos:

- El *CodeBe*, para la construcción 3D de tratamiento digital de las batimetrías y la discretización asociada y necesaria para aplicar modelos 3D de simulación.
- El *MMCsea*, para la obtención de campos de corrientes marinas 3D.
- El *Slick path*, de predicción de la trayectoria de la mancha en superficie del mar del hidrocarburo vertido.
- El *Oil*, de cálculos del *weathering* o cuantificación de todos los procesos relevantes que intervienen en la evolución temporal de los procesos físico-químicos a que están sometidos los hidrocarburos derramados en el mar. Incluye un módulo de interacción de la mancha con costas, basado en la modelización.

El fenómeno de *weathering* en hidrocarburos es el conjunto de procesos físicos y químicos que

**La división I+D CEANI ha desarrollado en los últimos años una serie de programas para determinar la evolución de las trayectorias de los vertidos**



**Figura 1:** Batimetría del Puerto de las Palmas de Gran Canaria generada a partir de un fichero de cotas de nivel en coordenadas UTM (\*.dxf) con el programa *codeBe*. Los colores indican alturas sobre el nivel del mar (Fuente: CEANI)

**El programa *Weathering* nos permite conocer, en cada instante, la cantidad de hidrocarburo que permanece en la mancha y las cantidades de petróleo en la columna de agua que se dispersa, se sedimenta, se disuelve y se deposita en las costas**

modifican las propiedades del contaminante inicial vertido, a veces llamados procesos de “envejecimiento”. Los cálculos del *weathering* determinan la evolución de las propiedades del hidrocarburo (densidad, viscosidad, porcentaje de agua en petróleo, etc.) en el tiempo, así como la cantidad del mismo que se evapora o se dispersa en la columna de agua, proporcionándonos además la evolución del área de la mancha (aumenta con el tiempo) y el espesor de la mancha (disminuye con el tiempo). Asimismo, obtenemos en cada instante la cantidad de hidrocarburo que permanece en la mancha y las cantidades de petróleo en la columna de agua que se dispersa, se sedimenta, se disuelve y se deposita en las costas.

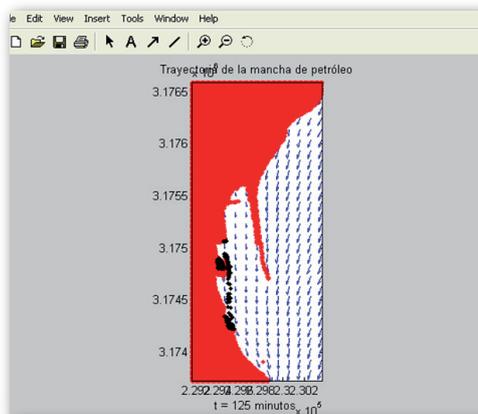
La predicción de derrames de hidro-

carburo precisa de un conocimiento exhaustivo de la oceanografía, meteorología, química del hidrocarburo y de las observaciones de las manchas de hidrocarburo. La NOAA (*National Oceanographic Atmospheric Administration*) es pionera en este campo, como demuestran los simuladores ADIOS2, que poseen un modelo de limpieza basado en tiempo permanencia del hidrocarburo en el medio marino que ayuda a elegir las estrategias de limpieza; GNOME, que modela la trayectoria del derrame para los panoramas específicos; CAMEO, y MARPLOT, que asisten a los planificadores de emergencias; ALOHA, modelo de dispersión en el aire de un derrame químico, y el TAP, Análisis de Trayectorias como herramienta de ayuda a la planificación. De igual forma, destaca el simulador MIKE 3 desarrollado por DHI, un software para los flujos tridimensionales de superficie libre aplicable a las simulaciones hidráulicas, a la calidad del agua y del transporte de sedimentos en lagos, bahías, mares, etc.

## LA OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS

El soporte logístico fundamental necesario en las instalaciones portuarias canarias para afrontar un incidente contaminante se estructura en función de los recursos disponibles para hacer frente a este tipo de

imprevistos. Las estrategias de limpieza de un vertido de hidrocarburo se ven altamente afectadas por factores tales como el tipo de crudo, las



**Figura 2.** Captura del programa *Slick path* que determina la trayectoria de la mancha de hidrocarburo. (Fuente: CEANI)

características del sitio del vertido y, en ocasiones, las decisiones políticas. Se han desarrollado numerosas técnicas y tecnologías para controlar los vertidos de hidrocarburos en el litoral y el medio marino. Los métodos más utilizados para las operaciones de limpieza del litoral vienen indicados en la tabla 2.

CATEGORÍA	EJEMPLO DE TECNOLOGÍA
Método natural	Atenuación natural
Método físico	Skimmers y Barreras Eliminación manual Eliminación mecánica Lavado Traslado de sedimentos Quema <i>in-situ</i>
Método químico	Dispersantes Desemulsificadores Solidificantes Capa superficial compuestos químicos

**Tabla 2.** Métodos de limpieza utilizados en el litoral.

La atenuación o recuperación natural consiste en la no intervención: permite que el crudo se elimine y degrade por métodos naturales y, en determinados casos, es la mejor opción ecológica y económica. Este es el caso de derrames en localizaciones alejadas o inaccesibles cuando las tasas naturales de degradación son rápidas, o derrames en sitios sensibles donde las acciones de limpieza pueden dañar más. No obstante, no es el caso de los entornos portuarios, en los que sí es necesario actuar y en los que se recomienda seguir el orden de actuaciones recogido en la Figura 4.

La utilización de software ante derrames de hidrocarburos supone una herramienta de optimización de los recursos disponibles y de la capacidad de respuesta para mitigar el impacto ambiental del derrame. En esa línea, la División I+D CEANI (IUSIANI) ha desarro-

llado el denominado Agente de Evolución Flexible (AEF), el cual está impactando en la comunidad científica internacional y que se recomienda como herramienta para la distribución de recursos en la zona, logrando así una optimización de las decisiones de logística de aprovisionamiento en condiciones normales y de desastre.

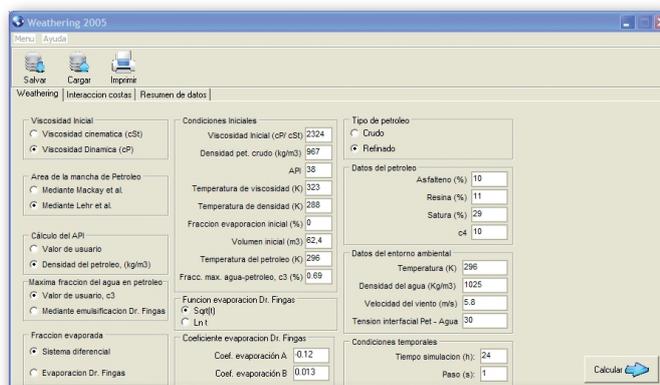
Con el objetivo de proveer de toda la flexibilidad posible al AEF, su implementación se ha dividido en subrutinas, denominadas “motores”, que engloban las tareas que serán ejecutadas, dependiendo de su finalidad (por ejemplo, todas las tareas de aprendizaje estarán en un “Motor de Aprendizaje”).

### LOS PLANES DE PREVENCIÓN Y ACTUACIÓN

Los riesgos que supone el transporte de hidrocarburos demuestran la necesidad de disponer de una capacidad de gestión de crisis eficaz ante vertidos. La planificación de la respuesta al derrame de hidrocarburos es una de las fases de esta actividad.

EIPlan Interior de Contingencias (PIC) por Contaminación Marina Accidental es de obligado cumplimiento por el RD 253/2004, de 13 de febrero, que establece medidas de prevención y lucha

**La utilización de software ante derrames de hidrocarburos supone una herramienta de optimización de los recursos disponibles y de la capacidad de respuesta para mitigar el impacto ambiental del derrame**



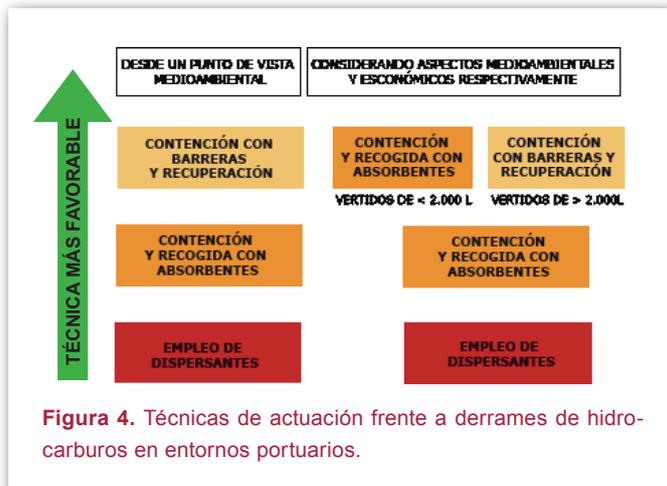
**Figura 3.** Captura del software *Weathering* desarrollado por la división I+D CEANI.

contra la contaminación en las operaciones de carga, descarga y manipulación de hidrocarburos en el ámbito marítimo y portuario. El PIC tiene como objetivo primordial establecer, por un lado, las líneas básicas de actuación en los casos en que se produzca un accidente con resultado de contaminación y, por otro, definir la vinculación de los Cuadros Directivos, Técnicos y Operativos de las instalaciones portuarias en el mencionado Plan.

**Formar al personal, adquirir material de lucha contra la contaminación y adoptar un protocolo de actuación en las descargas de material contaminante son claves para asegurar el buen estado ecológico de los puertos y las costas canarias**

Hay cuatro elementos fundamentales para la gestión eficaz en un derrame de hidrocarburos:

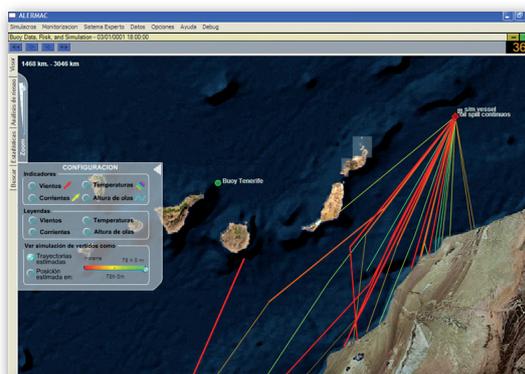
1. Una organización de respuesta: normalmente con equipamiento funcional capaz de abordar el mando, la planificación, las operaciones, la logística y los temas financiero/jurídicos. El objetivo es obtener las evaluaciones oportunas para hacer posible que el esfuerzo de la respuesta pase rápidamente de la actitud proactiva a la reactiva.
2. Funciones y responsabilidades claras: supone una “descripción del trabajo” para cada una de las funciones identificadas en la organización.
3. Comunicaciones efectivas: el flujo de información dentro de la organización y para el mundo exterior es un reto importante que requiere de tecnología moderna y personal disciplinado.
4. Recursos adecuados a los diferentes niveles: disponibilidad del equipamiento y personal adecuado.



**Figura 4.** Técnicas de actuación frente a derrames de hidrocarburos en entornos portuarios.

Del mismo modo, para asegurar el buen estado ecológico de los puertos y las costas canarias es necesario adoptar, como medidas preventivas, acciones como instruir y entrenar al personal encargado de afrontar estas situaciones; disponer de medios suficientes y operativos de lucha, controlando su mantenimiento y continua adaptación a las necesidades de la zona y, finalmente, cumplir un protocolo de actuación en las descargas de material contaminante de los buques a los muelles para evitar derrames innecesarios.

La realización de este trabajo de investigación intenta potenciar la transferencia de los resultados y las recomendaciones de esta innovadora herramienta de gestión tanto a los organismos a los que va dirigida, como la



**Figura 5.** Captura del software ALERMAC desarrollado por la división I+D CEANI.



**Figura 6.** Limpiamar y centro de control del Puerto de la Luz. Fuente: Autoridad Portuaria de Las Palmas.

difusión al resto de la sociedad, ya que la contaminación marina termina repercutiendo en todos de forma directa a través del medio marino y costero y, de forma indirecta, a raíz de las implicaciones socioeconómicas que conlleva. Por esta razón, este proyecto de I+D quiso apostar por Internet como medio más eficaz para su divulgación, realizándose el diseño de una página web con la colaboración especial de Antonio Blesa Moreno (miembro investigador del CEANI) en la que se muestran los contenidos del proyecto de una forma esquemática.

**BIBLIOGRAFÍA**

Adam, M., Galván, B. & Winter G. (2005): *Gestión Ambiental racional en Entornos Portuarios Macaronésicos*. Funchal: Fundación Puertos de Las Palmas (1ª ed.)

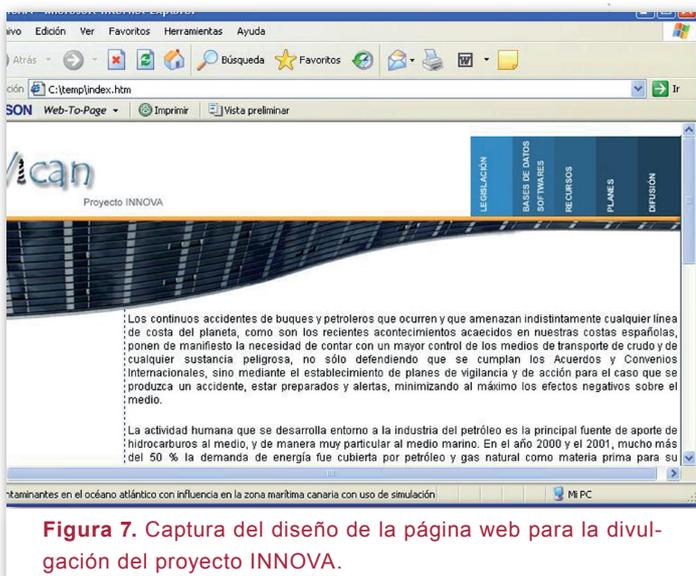
Brebbia, C.A. (2003): *Water Pollution VII. Modelling, Measuring and Prediction, vol. 9*. Cadiz. Wessex Institute of Technology. UK./ D. Almorza and D. Sales.

Buchanan, I. y Hurdford, N. (1988): *Methods for Predicting the Physical Changes in Oil Spilt at Sea*. Oil&Chemical Pollution, núm 4, págs. 311-328.

CEANI (2005): *Manuales usuario de software CODEBE-MMCSea, Slick y Oil*. Las Palmas de Gran Canaria. Universidad de Las Palmas de GC.

Cohen, M. A. (1985): *The Costs and Benefits of Oil Spill Prevention and Enforcement*. Journal of Environmental Economics and Management, núm. 13, págs. 167-188.

Delvigne, G.A.L., Sweeney, C.E. (1988): *Natural Dispersion of*



**Figura 7.** Captura del diseño de la página web para la divulgación del proyecto INNOVA.

Oil. Oil and Chemical Pollution, núm 4, págs 281-310.

Fingas, M. (2004): *Modeling Evaporation using Models that are not Boundary-layer Regulated*. Journal of Hazardous Materials, núm 107, págs 27-36.

García Méndez, R. y Marañón Maison, E. (1996): *La Contaminación del Mar: Fuentes, toxicidad, degradación y eliminación de contaminantes*. Oviedo. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.

Lehr, W.J. (2001): *Review of Modeling Procedures for Oil Spill Weathering Behaviour*. Oil Spill Modelling and Processes, págs. 51-90.

Morrison, J. (2004): *World Catalog of Oil Spill Response Products 2004/2005*. Ottawa: Steve Potter (8ª ed.)

NOAA (1994): *ADIOS, Automated Data Inquiry for Oil Spills, User's Manual*. Seattle. NOAA/Hazardous Materials Response and Assessment Division.

*Report Proyecto Alermac y Contribuciones del CEANI* (2005), en DVD.

Sebastião, P. & Guedes Soares, C. (1995): *Modelling the Fate of Oil Spills at Sea*. Spill Science & Technology Bulletin, vol. 2 N°2/3, págs 121-131.

Wing-keung Law, A. and Findikakis Nian-sheng Cheng, A.N. (2000): *Oil Transport in Surf Zone*. Journal of Hydraulic Engineering, vol. 126, Issue 11, págs. 803-809.

Winter, G., Galván, B., Alonso, S., González, B., Jiménez, J. I.,

Greiner, D. (2005): *A Flexible Evolutionary Agent: Cooperation and Competition among Real-coded Evolutionary Operators*. *Soft Computing -A Fusion of Foundations*. Methodologies and Applications, vol. 9 (4), págs 299-323.

## BIOGRAFÍA

### CLARA PINTADO GORORDO

Licenciada en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma de Madrid, actualmente está realizando el Doctorado en Oceanografía. En octubre de 2003 entra a formar parte del equipo investigador del CEANI (IUSIANI), bajo la dirección del Catedrático Gabriel Winter Althaus, para participar en los proyectos INTERREG IIIB GARP (Gestión ambiental de entornos portuarios) y ALERMAC (Red de monitorización para la gestión de riesgos de vertidos contaminantes en la zona macaronésica), finalizando su participación en febrero de 2006.

Paralelamente, se incorpora al Departamento de Desarrollo Sostenible del ICCM dirigido por el Dr. José Joaquín Hernández Brito, participando en el proyecto INTERREG IIIB MARMAC para la elaboración de las propuestas de ordenación y gestión del Área Marina Protegida LIC Franja Marina de Fuencaliente (La Palma).

Instituto Canario de Ciencias Marinas (ICCM).

Carretera de Taliarte, s/n.  
 35200 Telde, Gran Canaria.  
 Teléfono: +34 928 132 900  
 Fax: +34 928 132 908  
 clarapin@iccm.rcanaria.es

Patrocinador de esta investigación:

**ASTILLEROS CANARIOS, S.A.**