

# MODELACION DE LAS CORIENTES MARINAS EN ZONAS DE LA PLATAFORMA INSULAR CUBANA. SIMULACION DEL TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS EN EL MAR.

*Amilcar E. Calzada Estrada<sup>1</sup>, José M. Marín Antuña<sup>2</sup>, Osvaldo Enrique Pérez López<sup>1</sup>.*

*1. - Instituto de Meteorología, Loma de Casablanca, Regla, C.H., Cuba, [amilcarce@yahoo.com](mailto:amilcarce@yahoo.com), [maritima1@met.inf.cu](mailto:maritima1@met.inf.cu) 2. - Universidad de la Habana, [marin@ff.oc.uh.cu](mailto:marin@ff.oc.uh.cu).*

## RESUMEN

El trabajo realiza un análisis de la dinámica de las aguas en zonas costeras de importancia económica para Cuba como son algunas bahías de interés y áreas escogidas como reservas naturales. Los resultados son obtenidos a partir de un modelo hidrodinámico bidimensional que se alimenta de datos reales y de cálculos intermedios.

Por medio de salidas gráficas y otras digitales se realizan múltiples valoraciones que enriquecen los detalles espacio-temporales que se tienen de cada zona. El campo de las corrientes de plataforma es mostrado conjuntamente con los valores de la elevación del nivel del mar en todo el dominio de cálculo.

Se utilizan los Sistemas de Información Geográfica como útil herramienta en la confección de los escenarios propuestos y con el propósito de tener conocimiento exacto de las distancias existentes entre los puntos más representativos. Por último se aplica, por medio de un Enfoque Lagrangiano, un método capaz de describir procesos físicos importantes en la mancha del hidrocarburo sobre el mar.

## I. INTRODUCCIÓN

El medio marino es importante para el bienestar del planeta y sus habitantes, porque de él dependen gran diversidad de plantas y animales, el clima y otros procesos naturales. Es vital para el desarrollo sostenible de los países litorales, que explotan este recurso para proveerse de alimentos, minerales, productos farmacéuticos y materiales de construcción. En las zonas costeras se desarrollan importantes actividades comerciales como el turismo, y es además el medio principal por donde se transportan los bienes entre países.

En Cuba existen más de una centena de áreas protegidas marinas y marino-costeras. Estas se caracterizan por su gran diversidad de ecosistemas y alto grado de conservación, especialmente los asociados a formaciones coralinas. En sus aguas adyacentes hay presencia, además, de zonas de pesca de gran interés, playas para el consumo nacional e internacional, elementos impresionantes del relieve submarino que sirven de atractivos para las actividades subacuáticas.

De otro modo, el conocimiento de las características de estas aguas que cubren la plataforma de nuestro archipiélago y su transformación con el tiempo no sólo es necesaria para el estudio del mundo submarino, también es útil para analizar como

resarcir los efectos negativos de la acción del hombre sobre ellas. La deforestación, los vertidos químicos industriales, el empleo de fertilizantes y pesticidas, la existencia de las aguas residuales, la sobreexplotación pesquera, la construcción de pedraplenes y la exploración y extracción de hidrocarburos están entre las causas principales que aumentan la posibilidad de dañar este hábitat.

El 12% del petróleo que se vierte en el mar se debe a accidentes de petroleros. El resto proviene de fuentes naturales y vertidos "normales" asociados con su transporte y la limpieza en el mar de los tanques de almacenamiento.

Es por ello que nos hemos propuesto realizar estudios de la dinámica de las aguas en varias zonas costeras del archipiélago cubano, partiendo de un modelo físico concebido para áreas someras. La finalidad de nuestro desempeño consiste en aplicar un modelo determinístico [7] que sea capaz, en condiciones meteorológicas reales, de simular el transporte del hidrocarburo en el mar.

## **II. MÉTODO DE TRABAJO.**

Nuestra labor comenzó con la confección de los dominios de cada área de trabajo a través del SPRING como Sistema de Información Geográfica. Con él se geoferenciaron y digitalizaron los principales contornos, cayos y otros sitios de interés. Una vez establecidos estos detalles, se procedió a la realización de cada una de las rejillas para las diferentes regiones, donde las variables dependientes son definidas en los puntos que la conforman. En lo adelante se informará con mejor detalle de este procedimiento.

El modelo físico, por otra parte, propone el sistema de ecuaciones de Saint Venant como el de mayor ajuste a las características del flujo costero [5] y emplea la velocidad promediada en la profundidad. La estructura de los dominios, incluyendo celdas abiertas, cerradas e interiores fue debidamente insertada en el PHOENICS, software inglés de fluidodinámica computacional [2]. El OILTRACK, versión educacional, se utilizó para complementar el trabajo con idéntico algoritmo de operación.

Las variables meteorológicas y oceanográficas, utilizadas para alimentar los programas, fueron obtenidas a partir de distintos instrumentos distribuidos en cada zona. A continuación se realiza una breve descripción de la obtención de estos datos.

Bahía de Cárdenas: Se recibieron algunos datos de corrientes marinas (procedentes de la empresa Geocuba). Parte de ellos, los situados en la entrada de la bahía, se tomaron como variables de entrada en PHOENICS [1]; los restantes sirvieron para la calibración final, en unión a otras valoraciones [3]. El OILTRACK concibió las corridas del programa inglés para establecer sus condiciones de frontera en las celdas abiertas del dominio. El viento utilizado fue el promedio de la zona [4].

Bahía de La Habana: Se tomaron los datos de dirección y fuerza del viento (medido por el "Dyne" de la estación meteorológica de Casablanca) y el nivel del mar (a partir de un mareógrafo de Geocuba). Con esta información se seleccionaron las variables de entrada al modelo hidrodinámico. La muestra utilizada por los programas corresponde al período comprendido del 5 al 8 de diciembre de 2003.



81.1111 ° Longitud Oeste respectivamente. El primero de ellos es un lugar propenso a tal afectación y el segundo uno de los sitios más peligrosos para la ocurrencia de un derrame en la bahía (por la dinámica del área). Se concibió en ambos casos una descarga instantánea de una masa de 1025 Kg. (1 m<sup>3</sup>) del crudo Bachaquero 17 de procedencia venezolana y de características físico-químicas bien conocidas.

El enfoque escogido para trabajar esta segunda etapa fue el Lagrangiano, dividiendo la mancha en varias partículas de igual tamaño y concentración. Con la corrida se perciben los procesos de advección, difusión, dispersión e interacción con la línea de costa. Finalmente la concentración de cada lugar podrá medirse utilizando un volumen patrón y contando la cantidad de partículas dentro de él [6].

Se compararon los resultados de los procesos físicos en la mancha, inicialmente, sin añadir dispersante alguno y luego teniendo en cuenta las técnicas de dispersión y recolección mecánica. De este modo se valoran las ventajas de tal aplicación. El Software ADIOS (versión 2.0) nos llevó a detalles precisos de la mancha en el transcurso del tiempo.

### III. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Como primer resultado de este trabajo se encuentra la nueva corrida del OILTRACK en la Bahía de Cárdenas con la validación de los resultados. En la figura 2 se muestra la imagen del campo de la velocidad de las corrientes de este lugar a los 90 minutos del inicio, así como algunos detalles que pueden extraerse de los puntos que se escojan. En el extremo inferior izquierdo aparece la profundidad del agua en el transcurso del tiempo del punto 1 y en el superior derecho yace el valor de la velocidad de la corriente en el punto 2.

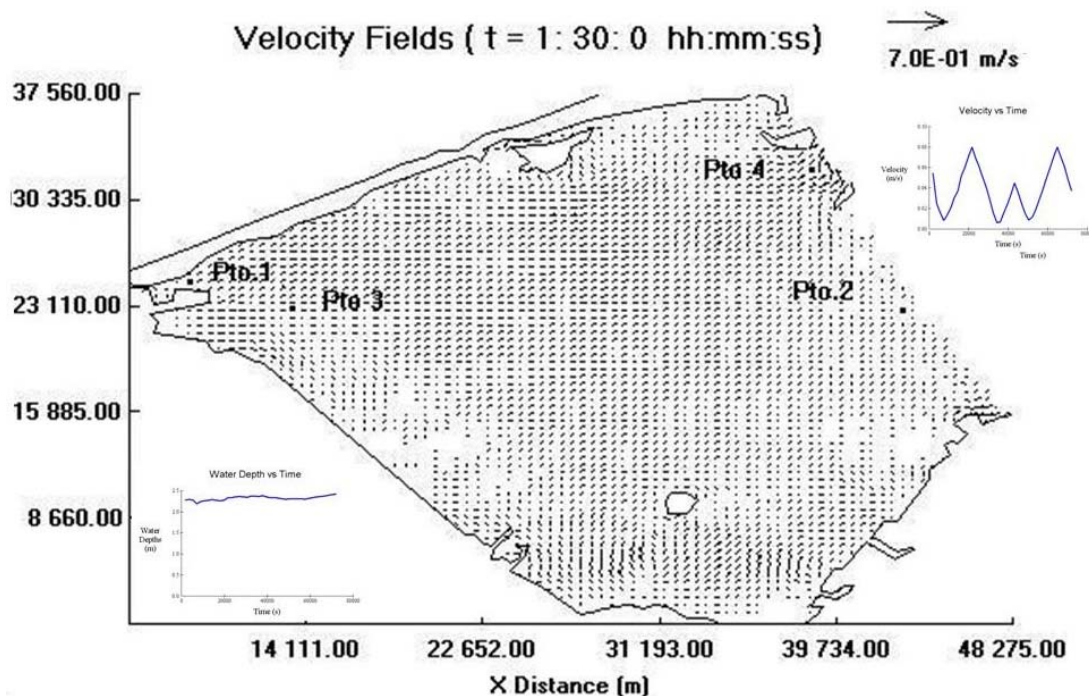


Fig. 2.- Resultado del campo de corrientes en Bahía de Cárdenas y distribución de los puntos analizados.

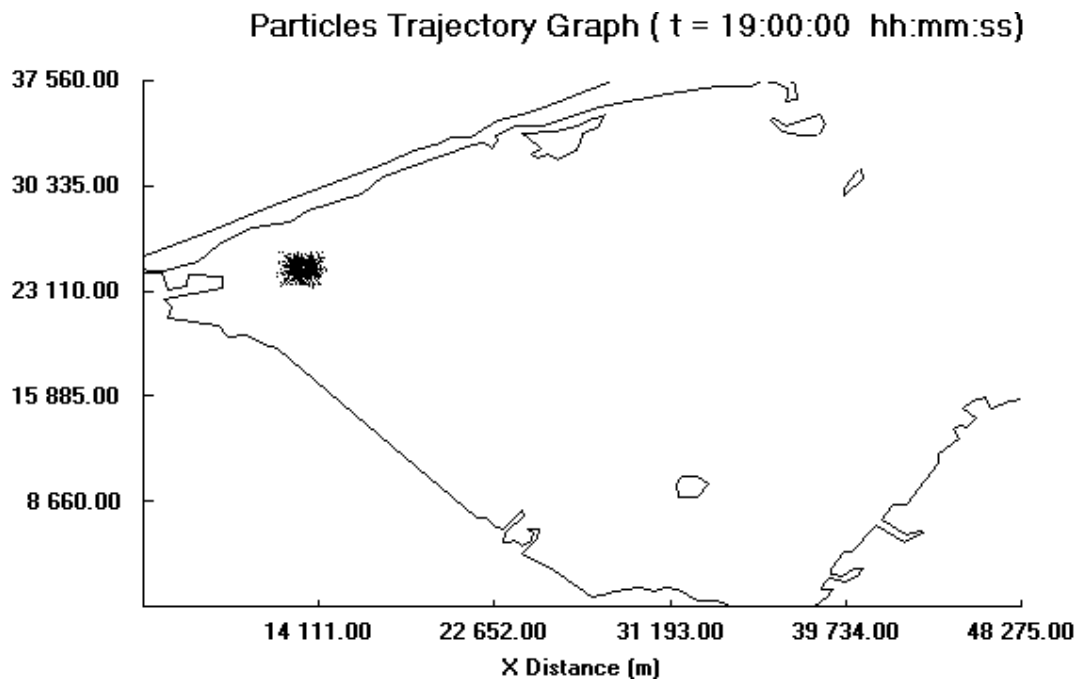


Fig. 3a.- Estado de la mancha de hidrocarburo con origen en el punto 3 a 19 horas del comienzo de la modelación y a 16 h de producida la mancha.

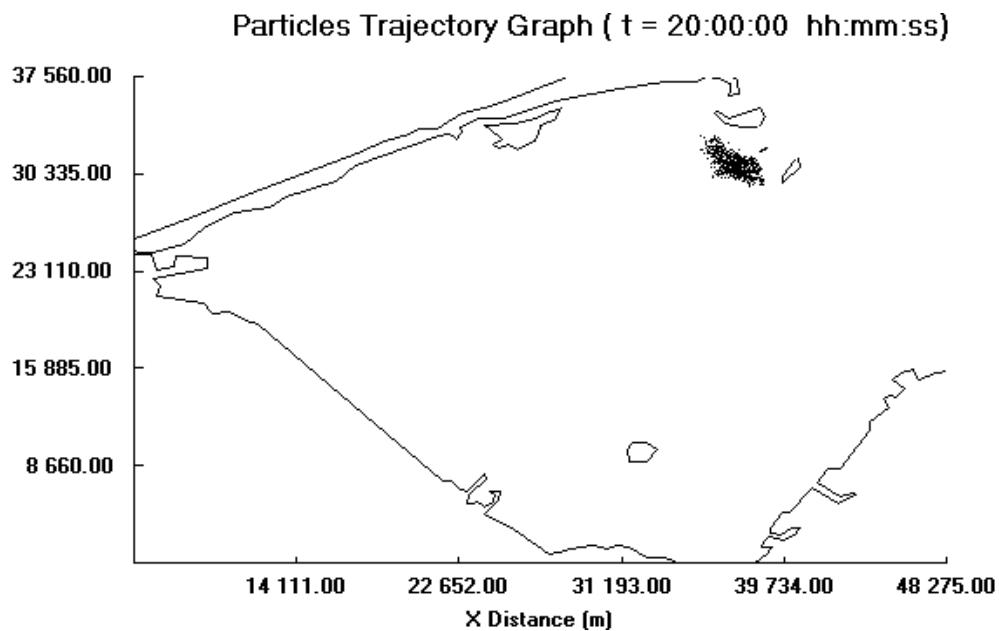


Fig. 3b.- Estado de la mancha de hidrocarburo con origen en el punto 4 a 20 horas del comienzo de la modelación y a 17 h de producida la mancha.

Es importante aclarar que esta simulación realizada por nuestro equipo es la segunda en el área. A medida que hemos tenido en cuenta más elementos representativos, mayor cercanía se va logrando al flujo real de la bahía. Existen además, un sinnúmero

de efectos que, por la poca frecuencia de ocurrencia entre otros factores, no hemos tenido en cuenta. Por ejemplo, el traslado de buques y otras embarcaciones es un fenómeno no valorado en el trabajo.

Los resultados de la modelación del derrame del hidrocarburo son notables en las figuras 3a y 3b para los puntos 3 y 4 respectivamente. Como puede apreciarse la mancha con origen en el punto 3, experimentó una advección menor, hecho que es motivado por los valores bajos de la velocidad de las corrientes en el lugar. En el otro caso la mancha se trasladó mucho más, aunque producto al efecto de la marea se mantuvo oscilando entorno al punto inicial. De todos modos según la simulación realizada en el segundo caso existen valores más elevados de probabilidad de afectar tierra durante el primer día de derrame.

Como se comentó anteriormente, se idearon algunas acciones sobre la mancha encaminadas a resarcir los efectos perjudiciales de la misma. Los hechos se describen a continuación:

A las 11:00 AM. se aplica el uso de los dispersantes, accionando sobre el 30% de la mancha, con un 50% de efectividad; a las 12:00 m se realiza una recolección mecánica, tomándose 0.3 m<sup>3</sup> del hidrocarburo y a las 13:00 horas se efectuó otra recolección mecánica, tomándose 0.2 m<sup>3</sup> de la mancha.

Las figuras que continúan muestran las principales diferencias entre el escenario descrito anteriormente y otro donde no se aplicó técnica alguna.

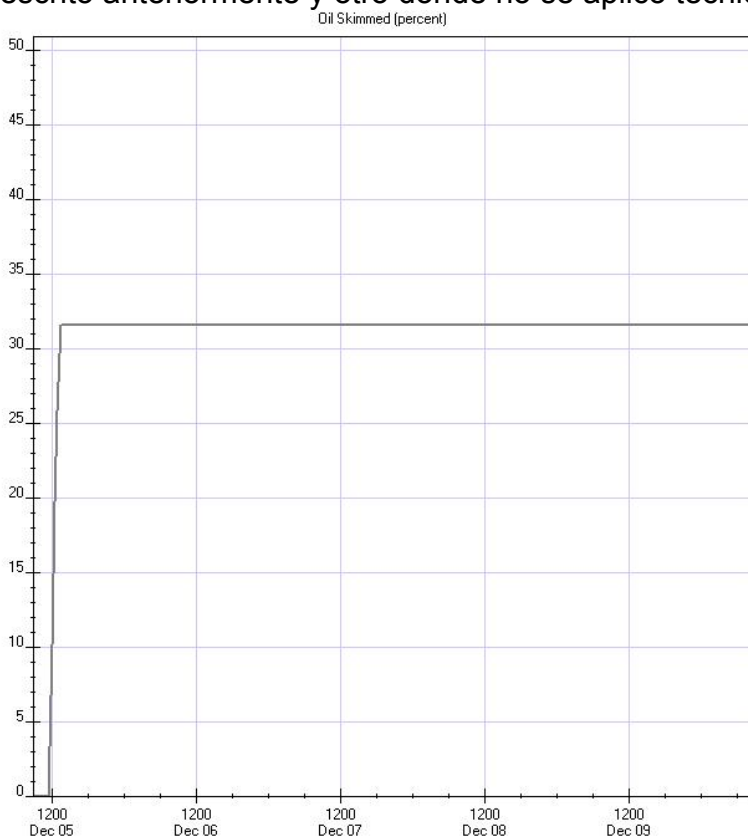


Fig. 4a.- Hidrocarburo dispersado mediante las técnicas en el transcurso del tiempo.

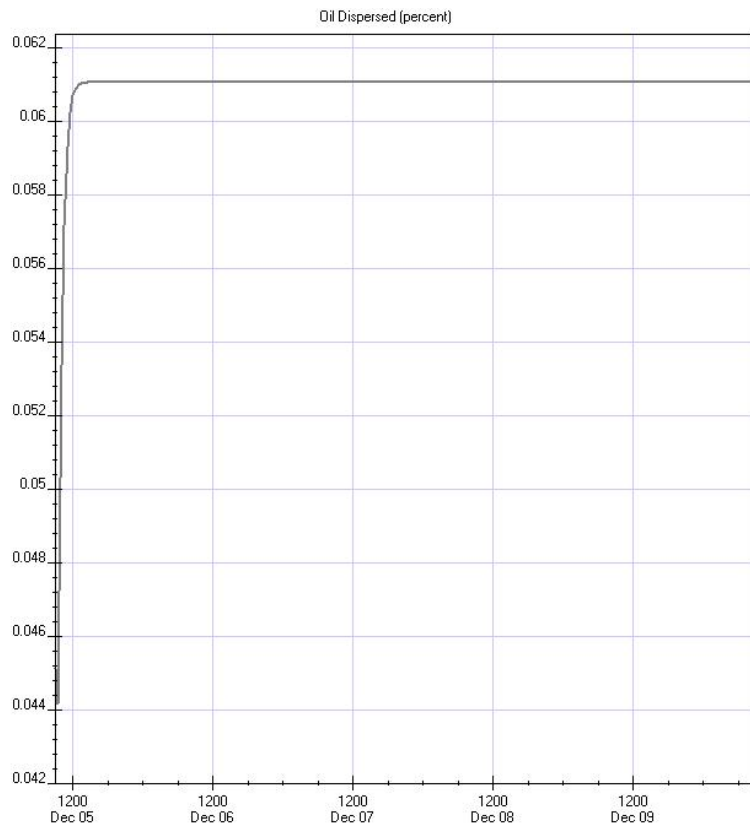


Fig. 4b.- Hidrocarburo dispersado de manera natural en el transcurso del tiempo.

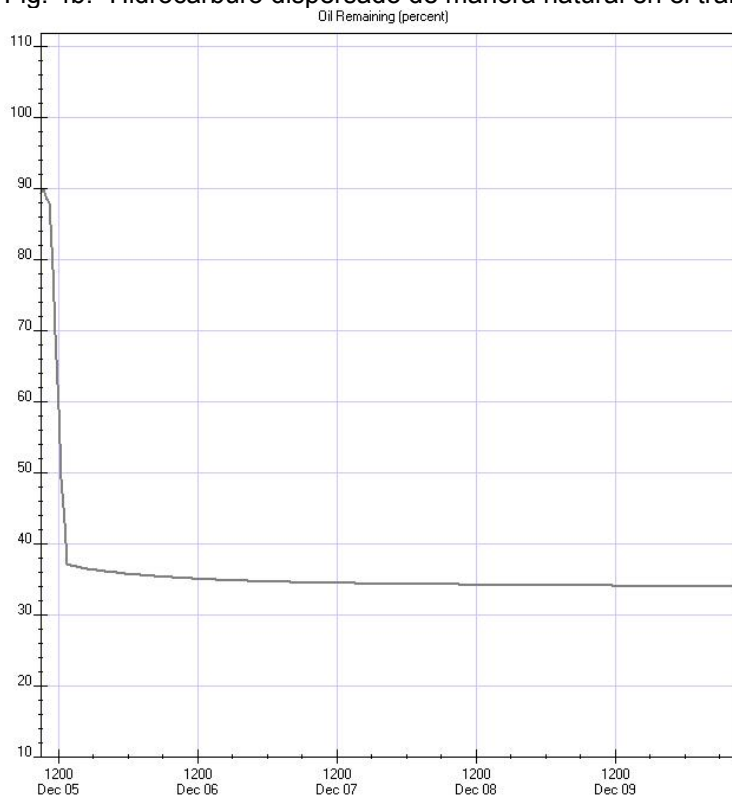


Fig. 4c.- Hidrocarburo que permanece sobre la superficie aplicando las técnicas en el transcurso del tiempo.

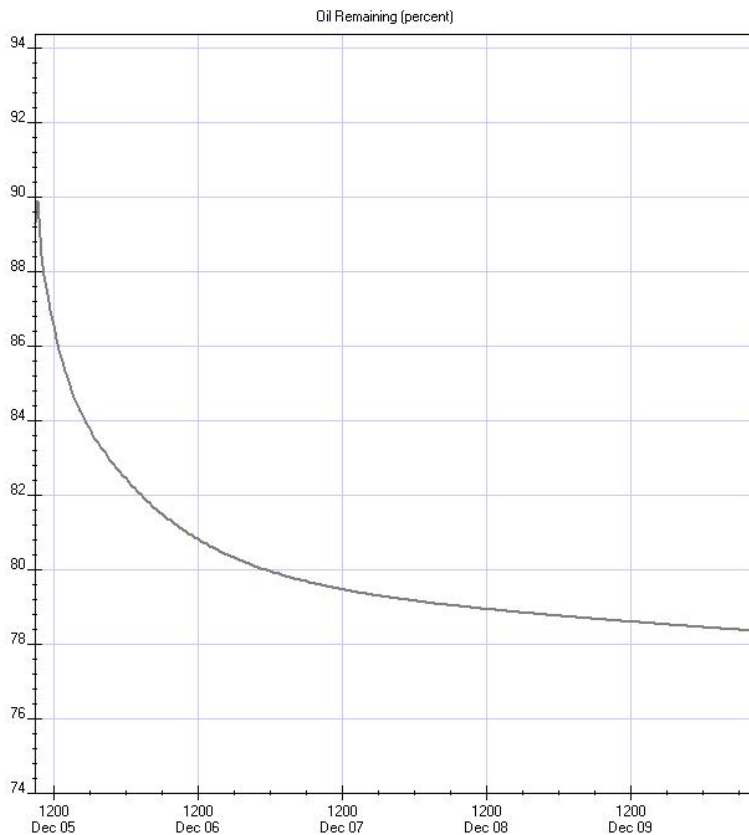


Fig. 4d.- Hidrocarburo que permanece sobre la superficie sin aplicar técnica en el transcurso del tiempo.

Además de las técnicas mencionadas existen otras que ayudan a reducir el impacto de la mancha como son el quemado in situ y la biorremediación. El empleo del quemado de la mancha no debe aplicarse en este caso por la cercanía de lugares de importancia. El método de biorremediación ha sido empleado en Cuba con buenos resultados, sin embargo aun está en fase de estudio.

#### IV. CONCLUSIONES

1. Con la combinación de los programas PHOENICS y OILTRACK se logran obtener resultados precisos del campo de corrientes marinas.
2. En escenarios pequeños puede disminuirse el paso de rejilla, logrando resultados más exactos.
3. La marea ejerce una influencia directa sobre los derrames producidos en zonas costeras. En lugares con presencia de marea semidiurna la advección de la mancha es menor que aquellos donde la marea tiene frecuencias mas bajas.
4. Con el empleo de técnicas como el uso de recolectores mecánicos y dispersantes existen condiciones mucho más favorables en el entorno, según el modelo, que sin aplicarlas.



## REFERENCIAS

1. Calzada Estrada, Amilcar; Marín Antuña, José M.; Mut Benítez, Rafael; García Díaz, Carlos; 2002; "Difusión de Petróleo en Aguas Cercanas a Objetivos Económicos"; Tesis de Maestría; Facultad de Física, Universidad de la Habana; Cuba.
2. Calzada Estrada, Amilcar; Mut Benítez, Rafael; Marín Antuña, José M.; Manuel Alberteris Campos; 2003; "Cálculo del Campo de Velocidades de las Corrientes Marinas en la Bahía de Cárdenas"; Revista Cubana de Meteorología; Vol. 10; número 1; 39-47 pp.
3. García Díaz, Carlos; 1995; "Informe de Oceanografía. Zona W de la Plataforma Norcentral (Bahías de Cárdenas y Santa Clara W).
4. García-Galocha, René; "Dinámica de las Aguas de la Bahía de Cárdenas"; Revista del Instituto de Investigaciones del Transporte; 18-20 pp.
5. García-Martínez, Reinaldo and Kahawita, R. A.; 1986; "Numerical Solution of the Saint-Venant Equation with the MacCORMAC Finite-Difference Scheme"; International Journal for Numerical Methods in Fluids; Vol. 6; 259-274 pp.
6. Ramos, S.; Delgado, L.; García-Martínez, R. and Rodríguez R.; 1999; "POSA – An Integrated Oil Spill Simulation Model-GIS for the Elaboration of a Contingency Plan in the Gulf of Paria, Estado Sucre, Venezuela"; 4th International Congress on Energy, Environment and Technological Innovation. Roma, Italia; 711-716 pp.
7. West, Mark y Solsberg, Laurie; 1998; Modelado de trayectorias de derrames de hidrocarburos; Informe Ambiental ARPEL No. 4; 46 pp.