
**MODELO TEÓRICO DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DE OBJETOS A LA DERIVA
BAJO LA INFLUENCIA DE CORRIENTES MARINAS SUPERFICIALES.**

**MODEL FOR MONITORING AND CONTROLLING DRIFTING OBJECTS UNDER
THE INFLUENCE OF SURFACE MARINE CURRENTS.**

MSc. Vega Desdin F. M.

GEOCUBA Estudios Marinos. fermin@emarinos.geocuba.cu

RESUMEN

La predicción sobre la evolución de vertidos de crudo, movimientos de objetos a la deriva, posibles trayectorias de la deriva larvaria, posibilidad de dar respuesta a los trabajos de salvamento como: rescate de naufragios; arribos de paquetes de narcóticos, esclarecimiento de hechos delictivos inducidos por las corrientes marinas y las condiciones meteorológicas imperantes en el área, se ha convertido en una prioridad importante para el país.

Los modelos matemáticos desarrollados hasta el momento, son complejos, costosos, muy sofisticados y requieren para su funcionamiento tecnologías informáticas potentes para disminuir los tiempos de corridas de los escenarios y sea oportuna la información.

El país no cuenta con un sistema de seguimiento y control de objetos a la deriva bajo la influencia de las corrientes marinas superficiales basado en mediciones directas, que sea fácil de asimilar por cualquier usuario aunque no tenga un perfil de preparación en la especialidad de oceanografía u otra ciencia afín, que permita la toma de decisión ante la ocurrencia de eventos de desastre y peligros, por el arribo a nuestras costas de objetos a la deriva y que en ocasiones no es oportuna, ni efectiva para prever o minimizar daños económicos, materiales, ambientales y vitales en sectores claves como la defensa, el turismo, la pesca o la prospección petrolera.

El objetivo general estuvo encaminado a elaborar un método para la determinación del movimiento de objetos a la deriva en el mar que permita agilizar de forma rápida y sencilla la toma de decisión ante cualquier contingencia.

Palabras claves: deriva, trayectorias, modelos, corrientes

ABSTRACT

Prediction of the evolution of oil spills, movements of drifting objects, possible trajectories of larval drift, possibility of responding to rescue work such as: shipwreck rescue; arrivals of narcotics packages, clarification of criminal acts induced by ocean currents and the prevailing weather conditions in the area, has become an important priority for the country.

The mathematical models developed to date are complex, expensive, very sophisticated and require powerful computer technologies to operate to reduce scenario run times and provide timely information.

The country does not have a system for monitoring and controlling drifting objects under the influence of surface marine currents based on direct measurements, which is easy to assimilate by any user even if they do not have a training profile in the specialty of oceanography or another related science, which allows decision-making in the event of disaster events and dangers, due to the arrival of drifting objects on our coasts and which is sometimes neither timely nor effective to foresee or minimize economic, material, environmental and vital in key sectors such as defense, tourism, fishing or oil prospecting.

The general objective was aimed at developing a model for determining the movement of drifting objects in the sea that allows for quick and easy decision-making in the event of any contingency.

Keywords: drift, trajectories, models, currents

INTRODUCCIÓN

La posición geográfica de Cuba y los procesos geodinámicos que se desarrollan en la región, desempeñan un papel fundamental en el patrón general del comportamiento de las corrientes marinas en el área del mar Caribe. La interpretación de estos fenómenos atmosféricos y oceánicos que se manifiestan cercanos a las costas cubanas, es de suma importancia conocer e investigar.

Las corrientes marinas que circundan todo el territorio nacional son intensas, influyen en la regulación del clima a escala global y facilitan el arribo de objetos a la deriva, por tanto, constituyen una variable hidrometeorológica a considerar en cualquier plan de contingencia; además, en las aguas territoriales de Cuba, específicamente hacia el golfo de México y el litoral Norte de La Habana, se han realizado estudios geofísicos, meteoceánicos y exploratorios durante la construcción de tres pozos petroleros que han arrojado como resultado, una alta probabilidad de presencia de reservas de hidrocarburos.

Las plataformas petroleras y el transporte de los hidrocarburos extraídos, están expuestos a ser arrastrados por las fuertes corrientes marinas y las malas condiciones hidrometeorológicas que imperan en estas zonas. Los accidentes que se producen por estas causas son una de las principales

fuentes de contaminación en los mares, la predicción sobre la evolución de vertidos de crudo, de movimientos de objetos a la deriva, las posibles trayectorias de la deriva larvaria de interés comercial, como la langosta; la posibilidad de dar respuesta a los trabajos de salvamento y rescate de naufragios, el arribo de paquetes de narcóticos y el esclarecimiento de hechos delictivos ocurridos en el mar, se han convertido en una prioridad importante para el país.

Los modelos matemáticos desarrollados hasta el momento son complejos, costosos, sofisticados y requieren para su aplicación operacional de tecnologías informáticas potentes con el objetivo de disminuir los tiempos de corridas en cada escenario.

En Cuba no existe un modelo de seguimiento y control de objetos a la deriva bajo la influencia de las corrientes marinas superficiales, basado en mediciones directas, de fácil interpretación y operatividad por cualquier usuario o tomadores de decisiones sin preparación especial en oceanografía u otra ciencia afín, que facilite el enfrentamiento ante la ocurrencia de eventos de desastres o peligros, por el arribo a nuestras costas de objetos a la deriva que podrían ocasionar importantes daños económicos, materiales y medioambientales a vitales sectores del país, como la defensa, el turismo, la pesca o la prospección petrolera.

El objetivo general está encaminado a: elaborar un modelo teórico de seguimiento y control de objetos a la deriva bajo la influencia de corrientes marinas superficiales, que facilite de forma operacional la toma de decisiones ante cualquier contingencia en las aguas territoriales de la República de Cuba.

MATERIALES Y METODOS

El peso fundamental, en cuanto a fuente de información, recae en las investigaciones hidrológicas enmarcadas en los proyectos *Strelest* de la expedición en conjunto soviético – cubana en la región noroccidental, y el Proyecto "Corriente" cuyas expediciones comenzaron a realizarse de forma periódica desde el año 1988, en el entonces Instituto Cubano de Hidrografía (ICH). En la costa Norte de Cuba comienzan a ejecutarse los cruceros oceanográficos, a partir del 1995 que se realizó el estudio de la totalidad de la región noroccidental. Después se extendieron hacia los canales de San Nicolás y Santaren, más tarde a la región nororiental, hasta que finalmente se logró abarcar la costa Sur, para de esta forma completar las investigaciones alrededor de Cuba. En todos los casos se estableció una red de estaciones de mediciones ejecutadas en varios cruceros oceanográficos realizados desde el año 1995 hasta el 2012, que fueron distribuidas en transeptos perpendiculares a las costas.

La información para esta investigación se tomó precisamente de los resultados de estos cruceros oceanográficos realizados desde el año 1995 hasta el 2015. Tabla 1.

Tabla 1. Principales cruceros oceanográficos realizados desde el año 1995 hasta el 2015

Crucero	Etapa	Estaciones	Transeptos
Zona noroccidental	agosto de 1995	71	13
Región noroccidental y norcentral	febrero y septiembre de 1996	119	25
Región noroccidental y norcentral	febrero de 1997	119	25
Región noroccidental	junio de 1997	83	16
Zonas occidental, central y oriental de la costa N	diciembre de 1997	134	35
Primer bojeo oceanográfico	septiembre de 1998	167	33
Segundo bojeo oceanográfico	mayo - junio de 1999	183	37
Zona nororiental de Cuba desde la bahía de Nuevitás hasta Punta Maisí.	marzo del 2004	25	5
Zona Económica Exclusiva (ZEE) del Golfo de México extendiéndose desde el cabo de San Antonio hasta la bahía de La Habana.	agosto del 2005	26	7
Zona Económica Exclusiva (ZEE) del Golfo de México extendiéndose desde Cabo Corrientes hasta la bahía de La Habana.	septiembre del 2006	29	8
Tramo costero desde bahía de Nuevitás hasta Cabo Cruz	octubre del 2007	45	12
Tramo costero desde el cabo de San Antonio hasta Cabo Cruz.	diciembre del 2008	48	11
Tramo costero desde la bahía de Nuevitás hasta Cabo Cruz	noviembre de 2009	48	13
Tramo costero desde la bahía de Cárdenas hasta la bahía de Nuevitás.	junio de 2010	31	8
Tramo costero desde Cayo Jutía hasta Punta Hicacos	octubre - noviembre de 2011	26	9
Tramo costero desde cabo de San Antonio hasta Cayo Largo	junio - julio de 2012	28	7

Hasta el presente, fueron utilizadas un total de 1 182 estaciones hidrológicas que abarcaron los meses de febrero (2), marzo (1), mayo (1), junio (3), julio (1), agosto (1), septiembre (3), octubre

(1), noviembre (2) y diciembre (2). Todas estas investigaciones han posibilitado obtener el régimen hidrológico y el patrón dinámico de las aguas.

En su gran mayoría, las primeras mediciones se ejecutaron con botellas Nansen y termómetros de profundidad cerrados y abiertos, en los horizontes standard, con las cuales se recolectaron muestras de agua en cada punto de medición, que fueron procesadas en el laboratorio, para la determinación del valor de la salinidad. A partir del crucero realizado en el mes de septiembre de 1998 se pudo emplear, una sonda oceanográfica de fabricación japonesa, que permitió obtener los registros cada un metro hasta la profundidad de 800 m y en los muestreos recientes se ha podido utilizar la sonda oceanográfica (ECM - 12), capaz de medir la temperatura, salinidad, presión, velocidad y dirección de la corriente en toda la columna de agua, hasta profundidades de 2 000 m .

Toda esta información fue agrupada para su procesamiento, análisis y representación gráfica final en los principales periodos estacionales del año: verano e invierno. Una vez organizados los datos de temperatura y salinidad se calculó las corrientes geostróficas mediante la aplicación del "método dinámico" y se tomaron los valores correspondientes de las mediciones directas con la sonda oceanográfica. Además, se consideraron los resultados de la investigación de las corrientes superficiales por el método de tarjetas de derivas, el cual se comenzó a realizar en el año 1988 hasta el año 1995 se realizaron 19 lanzamientos que hacen un total de más de 32 151 tarjetas de deriva. La recuperación fue de un cuatro por ciento cifras que está aceptada internacionalmente para este tipo de experimento. Fernández Vila L. y col., (1998)¹.

Otra fuente de información tomada en cuenta para esta investigación fueron los resultados de los estudios oceanográficos, ejecutados en la región noroccidental de Cuba, para conocer las particularidades de la circulación de las aguas donde se fondearon estaciones de corrientes, ubicadas en el canal de Yucatán y al Norte de Pinar del Río, con correntómetros auto registradores y perfiladores acústicos en varios horizontes, los que permitieron obtener series de corrientes de más de 30 días.

Con la información histórica del Instituto de Meteorología (INSMET) del CITMA se incorporó una base de datos histórica de vientos para las mismas etapas y regiones en forma de tabla de distribución frecuencial para 16 rumbos y rangos de velocidad, se utilizó el procesamiento estadístico de los datos de viento disponibles en formato digital de los faros con vigilancia (alrededor de 15 años de datos).

RESULTADOS

Los modelos numéricos son una herramienta para evaluar y entender la dinámica de un medio natural, simulándose computacionalmente las condiciones físicas del mismo, permitiendo evaluar alternativas preventivas y correctivas para estudios técnicos, científicos y ambientales, a fin de tomar medidas preventivas, de mitigación y correctiva ante cualquier contingencia en la zona costera. El modelo teórico propuesto (Figura 1) tiene la siguiente estructura:

¹ Fernández Vila L. y col., Experimento de tarjetas de deriva (1982-1998). Proyecto aguas oceánicas. La Habana, Cuba, 1998.

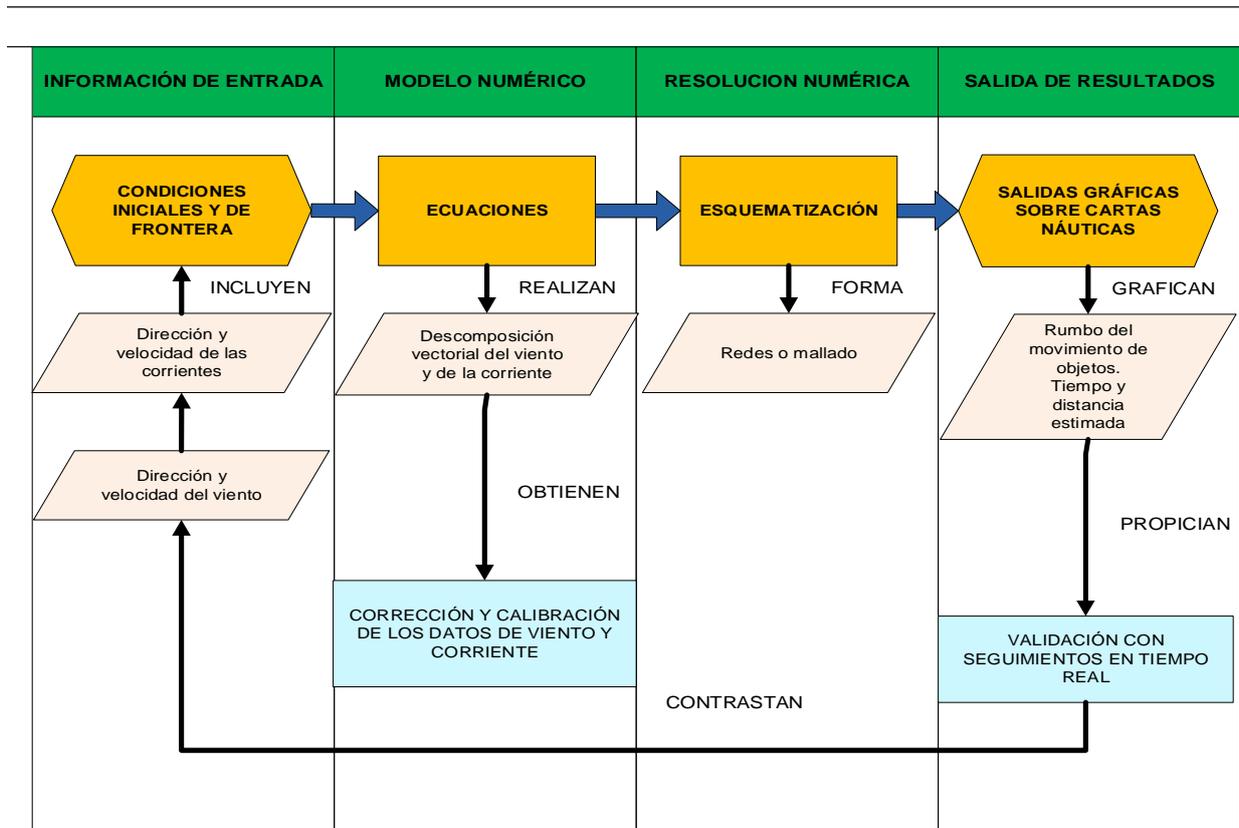


Figura 1. Modelo teórico de pronóstico del movimiento de objetos a la deriva

Información de entrada

El movimiento de un objeto que flota a la deriva sobre la superficie del mar se debe fundamentalmente a dos factores: la acción del viento y las corrientes marinas superficiales. Las observaciones realizadas sobre casos reales y experimentos controlados indican que la deriva, debido al viento, varía del 1 al 6 % de la velocidad del mismo y el régimen de corrientes al producirse el lanzamiento del objeto es un factor importante. Aragno F. J., (1983)².

El oleaje y las mareas también influyen en su movimiento, aunque sus efectos son menores en aguas profundas que los factores anteriores. West M. y Solsberg L., (1998)³.

Generalmente el viento y la corriente no tienen la misma dirección, de manera que la predicción del movimiento de un objeto a la deriva se basa en la descomposición y las sumas de las componentes de viento y corriente. En este procedimiento, se sigue la máxima náutica para trazar los vectores, es decir, la dirección del viento es aquella desde donde viene y la dirección de la corriente marina es hacia donde se dirige.

² Aragno F. J., Derrame de las aguas del río Orinoco en el Mar Caribe sudoriental. Caracas, Venezuela, 1983.

³ West M. and Solsberg L., Modelado de trayectoria de derrames de hidrocarburos. Arpel, 1998.

Con el objetivo de introducir el pronóstico estadístico en el modelo se incorporó una base de datos histórica de vientos para las mismas etapas y regiones en forma de tabla de distribución frecuencial para 16 rumbos y rangos de velocidad. La misma se realizó a partir del procesamiento estadístico de los datos de las series de viento, disponibles en formato digital de los faros con vigilancia de Cuba (alrededor de 15 años de datos), desde 1978 hasta 1993 para las diferentes épocas del año y la información histórica del Instituto de Meteorología (INSMET) del CITMA. A partir de estas series se calcularon las tablas de distribución frecuencial porcentual para 16 rumbos y se organizaron en cinco rangos de velocidad para facilitar los cálculos:

Calma (velocidad 0)

De 1 a 10 km/h

De 11 a 20 km/h

De 21 a 30 km/h

Más de 30 km/h

Se calcularon además las velocidades medias y máximas para cada rumbo. Estas distribuciones se hicieron para los cuatro trimestres del año:

- Diciembre, enero y febrero (invierno).
- Marzo, abril y mayo (transición invierno – verano).
- Junio, julio y agosto (verano).
- Septiembre, octubre y noviembre (transición verano – invierno).

Modelo numérico

Para pronosticar el movimiento de las manchas de hidrocarburos u objetos a la deriva sobre una red cuadrada se utilizó el modelo de Rice I., (1977)⁴ regido por ecuaciones basadas en la suma y descomposición vectorial de los vectores viento y corriente marinas.

⁴ Rice I., Comportamiento del petróleo en agua. Movimiento de un derrame. Estados Unidos, 1977.

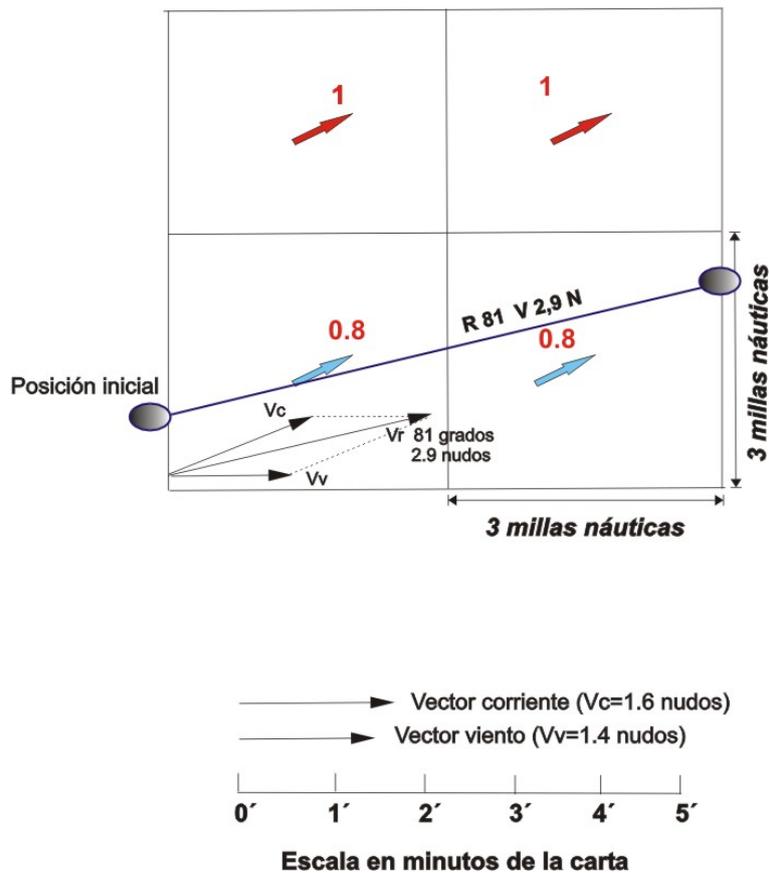


Figura 14. Movimiento de un objeto a la deriva en función del viento y las corrientes (método gráfico).

El método físico – matemático para la elaboración del modelo es el de Interpolación, basándose en la utilización de la base de datos histórica de estaciones de corrientes ejecutadas en el área donde la intensidad de la corriente se promedió por estaciones, obteniéndose un vector de corriente representando la velocidad y dirección en cada estación y se utilizó además los datos de viento, obteniéndose un vector promedio por estaciones meteorológicas representativas de cada zona.

Algoritmo para el cálculo de la trayectoria

Según las estadísticas de las observaciones realizadas sobre derrames reales y experimentos controlados se pueden asumir como condiciones de partida que en el desplazamiento de una mancha en el mar influyen:

- Las corrientes oceánicas permanentes (isobata > 200 m) en un 100 % .
- Las corrientes generadas por el viento en un 3 % y su rumbo está desviado hacia la derecha en un ángulo $Z = 40 - (8 * (Vv)^{1/2})$ si Vv (velocidad del viento) es menor que 25m/s. En caso de ser mayor de este valor $Z=0$.
- La deriva producto del oleaje tiene el mismo sentido de la dirección de la deriva del viento y se compensa considerando el 3,5 % de la velocidad del viento como influencia en la deriva de la mancha.

Es decir, para calcular la deriva de una mancha de hidrocarburos se hace una sencilla suma vectorial del 3,5 % de la velocidad del viento en la dirección en que este sopla y del 100 % de la velocidad de la corriente en la dirección que corre, tomando en cuenta que en profundidades mayores de 200 m se considera la corriente oceánica. Además, la trayectoria se calcula como la de su centro de masa.

Secuencia de cálculo para la trayectoria.

-Se descompone el vector viento en sus dos componentes N - S y E - W es decir la proyección del vector en los dos ejes mencionados.

$$\text{Componente N-S (eje de las y): } V_{vy} = -0.035 * V_v * \cos (A+Z) \quad (2)$$

$$\text{Componente E-W (eje de las x) } V_{vx} = -0.035 * V_v * \sen (A+Z) \quad (3)$$

Donde:

V_v - Velocidad del viento en m/s

V_{vx} - Proyección del vector viento en el eje de las x

V_{vy} - Proyección del vector viento en el eje de las y

A- dirección del viento en grados

Z- desviación de la corriente de deriva

Nota: El signo negativo es para tener en cuenta que el viento se da desde donde sopla y nosotros debemos considerar al contrario hacia donde va.

- Se descompone el vector corriente (V_c) análogamente al viento solo que el coeficiente sería = 1 porque se considera el 100 % de la velocidad de la corriente.

$$\text{Componente N-S (eje de las y) } V_{cy} = V_c * \cos B \quad (4)$$

$$\text{Componente E-W (eje de las x) } V_{cx} = V_c * \sen B \quad (5)$$

Donde:

V_c - Velocidad de la corriente en m/s

V_{cx} - Proyección del vector corriente en eje de las x

V_{cy} - Proyección del vector corriente en eje de las y

B – Dirección de la corriente en grados

Nota- La velocidad de la corriente y otros parámetros marinos a veces se dan en nudos un nudo = una milla / hora = 0,51 m/s.

- Se suman las componentes de corriente y de viento por cada uno de los ejes.

$$V_x = V_{vx} + V_{cx} = -0.035 * V_v * \sen A + V_c * \sen B \quad (6)$$

$$V_y = V_{vy} + V_{cy} = -0.035 * V_v * \cos A + V_c * \cos B \quad (7)$$

Teniendo estas dos componentes se calculan la velocidad de la mancha (V) y su dirección (C).

$$\text{Velocidad de la mancha- } V = [(V_x)^2 + (V_y)^2]^{1/2} \quad (8)$$

$$\text{Dirección de la mancha - } C = \text{arc tan} (V_x / V_y) \quad (9)$$

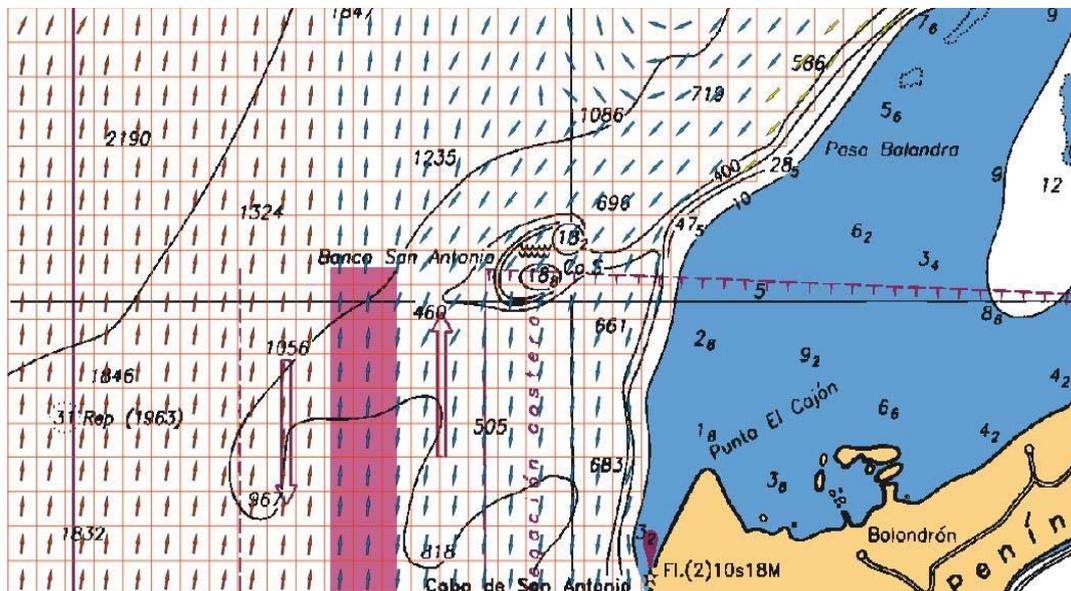
Cálculo de la trayectoria de objetos a la deriva

La trayectoria de objetos a la deriva tiene un procedimiento de cálculo similar al de la mancha, solo hay que tener en cuenta la correspondencia entre el área sumergida del objeto y el área emergida. Es decir, es necesario conocer las dimensiones aproximadas de los objetos a los que se le van a pronosticar los desplazamientos y su flotabilidad en el agua de mar. La mayoría de estos pronósticos se hacen en sentido inverso, quiere decir que ya se tiene el objeto y se desea conocer su origen, por tanto, se pueden conocer sus dimensiones con bastante exactitud. También se da el caso de que las dimensiones de los objetos se conocen de antemano debido a un determinado *modus operandi* (en el caso del narcotráfico en el mar) o por sus características táctico-técnicas (en el caso de las minas a la deriva).

La importancia de conocer las dimensiones y flotabilidad de los objetos radica en que si el área sumergida es 100 veces mayor que la emergida entonces el objeto se moverá exactamente por el mismo procedimiento de cálculo que la mancha, en caso contrario hay que entrar a considerar la fuerza de empuje del viento como un vector más en la suma vectorial.

Resolución numérica

Para aumentar la resolución numérica fue necesario cuadricular a una x una milla náutica las aguas adyacentes a Cuba, asignándole a cada centro de rejilla un valor de velocidad y dirección de corrientes por cada época del año promedio. Figura 2.



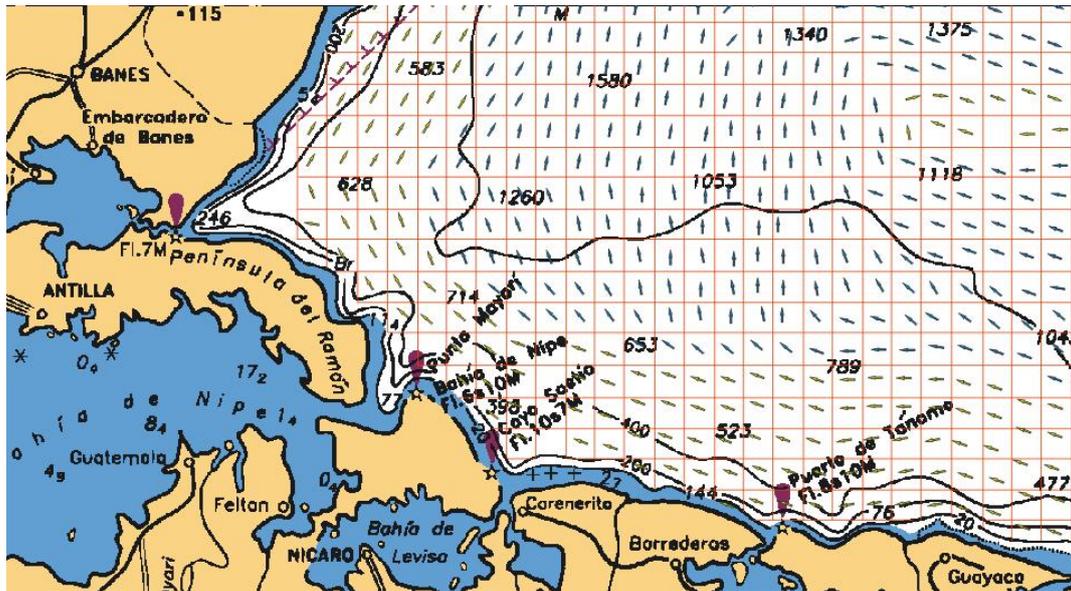


Figura 2. Ejemplos de esquemas de cartas de corrientes oceánicas superficiales con un paso de rejilla de una milla

Se creó además una base de datos de corrientes oceánicas para diferentes épocas del año alrededor de Cuba, en formato digital, con un paso de rejilla de una milla debido a la precisión de los datos. Como resultado de este trabajo se elaboraron 12 archivos digitales con los datos de corrientes marinas superficiales asignados a coordenadas geográficas en el terreno. Cada archivo tiene un nombre de 6 dígitos o letras las 5 primeras corresponden a las zonas mencionadas y la última a la época del año.

Las zonas en que se dividieron las aguas adyacentes a Cuba fueron:

ZONA A (noroccidental). Desde el Estrecho de Yucatán hasta la entrada occidental del canal de San Nicolás, incluyendo parte del Estrecho de la Florida.

ZONA B (norcentral). Canales de San Nicolás, Viejo de Bahamas y Santarén.

ZONA C (nororiental). Desde la parte oriental del Canal Viejo de Bahamas hasta el Paso de los Vientos o Punta de Maisí.

ZONA D (suroriental). Desde la Punta de Maisí hasta Cabo Cruz.

ZONA E (surcentral). Desde Cabo Cruz hasta el oriente del archipiélago de Los Canarreos.

ZONA F (suroccidental). Desde el archipiélago de Los Canarreos hasta el Estrecho de Yucatán.

Las épocas del año consideradas son:

Letra I. Noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril (invierno o período seco).

Letra V. Mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre (verano o período lluvioso).

A manera de ejemplo el fichero ZONAAV. dat corresponde a la zona noroccidental en época lluviosa. Tabla 2.

Tabla 2. Archivos digitales que conforma la base de datos de corriente

Región	Época	Cantidad de nodos	Cantidad de cuadrícula
Zona A noroccidental	Zona AI	10 007	5 645
	Zona AV	10 012	5 645
Zona B norcentral	Zona BI	6 035	1 661
	Zona BV	6 029	1 661
Zona C nororiental	Zona CI	5 075	2 846
	Zona CV	4 786	2 846
Zona D suroriental	Zona DI	7 974	2 031
	Zona DV	7 957	2 031
Zona E surcentral	Zona EI	10 531	2 943
	Zona EV	10 519	2 943
Zona F suroccidental	Zona FI	15 373	4 172
	Zona FV	15 373	4 172

Los archivos se realizaron en dos extensiones diferentes .XLS (correspondiente a EXCEL) y .DAT (usada por SURFER y otros programas). Para facilitar la visualización de los datos, los ficheros tendrán el mismo esquema de distribución de los datos en columnas, donde la primera columna se corresponde al número del nodo o cuadrícula, la segunda y la tercera columna a la longitud y a la latitud en grados, la cuarta y la quinta columna son la dirección y velocidad de la corriente en m/s, expresada la dirección en ángulos (0-360°).

Salida del resultado

La base de mapas para la representación gráfica de las trayectorias son los cuarterones 1:150 000 que rodean a Cuba. Estas cartas náuticas están disponibles en formato digital y por encima de ellas se montaron las rejillas del modelo.

Esta base de mapa incluye además información adicional referente a: Batimetría; información de la línea costera (tipos de costas divididos en playas de arenas, playas de cascajos, costa rocosa acantilada o no, manglar y otras); información visual referente a objetivos económicos de importancia cercanos a las costas para la actividad que nos ocupa (refinerías, industrias, termoeléctricas, plataformas de perforación y extracción en el mar o en la zona costera, puertos de carga y descarga de hidrocarburos, oleoductos cercanos a la costa, rutas marítimas internacionales y de cabotaje, zonas urbanas costeras, objetivos económicos que pueden ser afectados por un derrame como son los polos turísticos costeros, playas, marinas, zonas de buceo, delfinarios, acuarios, zonas de pesca y de desove, centros de acopio y otros); información visual de objetivos

ecológicos que pueden ser afectados por un derrame (barreras coralinas, zonas de manglares, etc.); información litostratigráfica para orientar al usuario no especialista acerca de la zona donde se produce el escenario.

En el proceso de cálculo de trayectorias todas estas informaciones se usan solamente para hacer más amigable el entorno del mapa y dar un mayor volumen de información al usuario.

CONCLUSIONES

1. El peso fundamental de la información recopilada en esta investigación, recae en el Proyecto "CORRIENTE" desde el año 1995 hasta el 2015, lo que permitió caracterizar la dinámica compleja alrededor de Cuba.
2. Se posee una base de datos de vientos y corriente marinas que ha permitido establecer claramente en dos épocas del año (lluvia y seca) las particularidades de estas variables y se logró una interpolación de la corriente de una milla de distancia para poder realizar el modelo teórico.
3. Este sistema de seguimiento facilita con tiempo suficiente tomar las medidas necesarias que permitan elaborar un Plan de Contingencia para minimizar el impacto a nuestras costas de objetos a la deriva de las corrientes superficiales y el viento.

RECOMENDACIONES

- Continuar con las mediciones de corrientes y experimentos de seguimiento de objetos a deriva alrededor de nuestras costas e ir actualizando la base de datos del modelo hasta cubrir un área más densa.
- Incorporar datos de vientos actualizados de la red de estaciones meteorológica del Instituto de meteorología.
- Incorporarle al modelo los procesos de intemperización que sufren los hidrocarburos al entrar en contacto con el medioambiente como son: la evaporación, disolución, oxidación, emulsificación, sedimentación, biodegradación, el esparcimiento y la dispersión.
- Utilizar información satelital en próximas versiones del modelo donde enriquezcan las bases de datos de corrientes y el estado del mar.

BIBLIOGRAFIA

1. Álbum de corrientes superficiales. ICH. La Habana, Cuba, 1980.
2. Aragno F. J., Derrame de las aguas del río Orinoco en el Mar Caribe sudoriental. Caracas, Venezuela, 1983.
3. Aragno F. J., Dinámica del Mar Caribe en la costa venezolana (abstracto). Caracas, Venezuela, 1980.
4. Arriaza L. y Milian Lorenzo D. E., Aspectos novedosos del Princeton Ocean Model para la modelación de procesos físicos en el Intra Americas Sea. Contribución a la educación y la protección ambiental, Vol. 6, ISBN 959-7136-35-X. 2005 b.

5. Arriaza L., Milian Lorenzo D. E., Rodas L., Simanca J. y Romero P.L., SIMCO: Herramienta computacional operacional para la simulación de corrientes marinas en zonas de la plataforma marina cubana. II Conferencia Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas. ISBN 959-19-0463-7. 2006 b.
6. Arriaza L., Milian D.E., Romero P., Simanca J., Ramírez O., Rodas L., Lorenzo S.L. y Martínez M., Metodología para la estimación del comportamiento de las corrientes marinas en Cuba. Casos de estudio: aguas oceánicas adyacentes a Cuba y bahía de Santiago de Cuba. III Conferencia Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas. ISBN 978-959-286-005.UCIENCIA 2007, III Taller de Física y Matemáticas Computacionales. 25-27, Octubre 2007.
7. Arriaza L., Lorenzo S., Rodas L. y Ramírez O., Corrientes marinas estimadas. Primera etapa: aguas oceánicas adyacentes a Cuba y en zonas de su plataforma insular. IDO. Cuba, 2009.
8. Baban S. M. y Jules-Moore S., An Evaluation of Water Circulation and Contaminant Transport Models for the Intra-American Seas. 2005.
9. Baisre J., García G., González M., González G., Guerra R., Hernández M., Iturralde M., Montalvo F., Pérez M., Rodas L., Valle S., Villasol A., Álvarez S., Beltrán J. M., Caballero H., Caballero V., Cárdenas A. L., Chabalina L., Chávez M. E., Díaz G., Espinosa L., Feitó R., García Y., González E., González P., de León Ma. E., Machín E., Martínez M., Mitrani I., Palacios F., Pérez A., Pérez de los Reyes R., Pérez Santos I., Puga R., Rivas L., Rivera N., Ravelo J., Sosa I., Sosa M., Varona A. G. y Suárez M. Conozcamos el Mar, Tabloide del curso Universidad para todos, Editorial Academia, La Habana, 32 pp. 2006.
10. Belaev B. N., Boldirev V. S., Aplicación de la teoría de las funciones aleatorias al estudio de las corrientes marinas. Oceanología, tomo III, 1963.
11. Bowden K. F., Physical Oceanography of coastal waters. Ellis Horwood Ltd. ISBN 0-85312-686-0. 287 pp. 11-287. 1983.
12. Calzada A. E. y col., Guilarte Y., Rodríguez R., Casals R., Rojas M., Pérez F. E., Bezanilla A., Rodríguez N., Ortega F. y Amboaje Y., Principales herramientas del modelo de trayectoria PETROMAR. Proceso de Validación. IX Cong. de Ciencias del Mar. Comité Oceanográfico Nacional, La Habana, Cuba. 2012.
13. CEPET, Control de derrames de petróleo. Petróleos de Venezuela, 1995.
14. Chirino A. L., García C., y Rodríguez J. P., La contracorriente cubana, sus características y variabilidad. II Cong. de Ciencias del Mar. Comité Oceanográfico Nacional, La Habana, Cuba. Resumen 236, 1990.
15. Cifuentes Lemus J. L., Torres García P., El océano y sus recursos III. Las ciencias del mar: Oceanografía Física, Matemáticas e Ingeniería, 2002.
16. Cordero C., Gutiérrez A., Cerveto O y Pérez J. y col., Generalización de las características hidrodinámica de la costa norte de Cuba. GEOCUBA Estudios Marinos, La Habana, Cuba, septiembre 1996- febrero 1997.
17. Derrotero de las costas de Cuba, región marítima del norte y sur. GEOCUBA Estudios Marinos, La Habana, Cuba, 2008.
18. Egorov N. I., Oceanografía física. Leníngrado. Ed. Guidrometoizdat. 434 pp. 1966.
19. Emilsson I. y Gómez J. A., Red de estaciones standard alrededor de Cuba. Resumen Investigativo 108, Centro de Inv. Pesq., Curazao. CICAR FAO R71, 1969.

20. Felsenbaum A. I., Fundamentos teóricos y métodos de cálculo de las corrientes marinas, 1960.
21. Fernández Vila L. J., Chirino Núñez A. L. y col., Atlas Oceanográfico de las Aguas del Archipiélago Sabana - Camagüey. La Habana, Cuba, 1993.
22. Fernández Vila L. y col., Experimento de tarjetas de deriva (1982-1998). Proyecto aguas oceánicas. La Habana, Cuba, 1998.
23. Fomin I. M., Fundamentos teóricos del método dinámico y su aplicación en la oceanología, 1961.
24. Frolov S. A., Sutyryn G. G., Rowe G. D., y Rothstein L. M., Loop Current Eddy Interaction with the Western Boundary in the Gulf of Mexico, *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 34, pp 2223. 2004.
25. Gallegos A., Victoria I. y col., Condiciones oceánicas en el Canal de Yucatán, el Estrecho de la Florida, el Canal Viejo de Las Bahamas, el Paso de los Vientos, el Estrecho de Colón y el Mar de Caimán en noviembre de 1989 y abril de 1991. Volumen 1. Informe Científico Técnico. Instituto de Oceanología, 2000.
26. García C. y Betanzos A., Corrientes alrededor de Cuba. CIP. La Habana, Cuba, 1992. (inédito)
27. García C. y Betanzos A., Corrientes alrededor de Cuba. Reporte de investigaciones, CIP. La Habana, Cuba, 1996. Inédito.
28. García C., Chirino A., y Rodríguez J., Corrientes geostróficas en la ZEE al sur de Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesquera*. 12(1-3):29-38, 1991.
29. Gómez J. A., Corrientes geostróficas alrededor de Cuba. CIP. La Habana, Cuba, 1972.
30. Gómez J. A., Corrientes geostróficas alrededor de Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesquera*. 4(3):89-102, 1979.
31. Gutiérrez A. Pérez J, Barbeito R, Moreau P. y col., Estudio de las características hidrológicas y de la circulación de las aguas alrededor de Cuba. GEOCUBA Estudios Marinos, La Habana, Cuba, septiembre de 1998.
32. Gutiérrez A. Pérez J, Barbeito R, Moreau P. y col., Generalización de las características termohalinas y dinámicas en la costa norte de Cuba. GEOCUBA Estudios Marinos, La Habana, Cuba, septiembre 1996 - febrero 1997 y junio 1997 - diciembre 1997.
33. Gutiérrez A. y Jiménez J. y col., Atlas Oceanográfico de las aguas oceánicas alrededor de Cuba. GEOCUBA Estudios Marinos, La Habana, Cuba, 2001.
34. Gutiérrez A., Viamontes F. J., Pérez J., Barbeito R., Moreau P. y col., Estudio de las características hidrológicas y de la circulación de las aguas oceánicas alrededor de Cuba. GEOCUBA Estudios Marinos, La Habana, Cuba, septiembre de 1998.
35. Hernández M., Rodas L., Arriaza L., Simanca J., Lorenzo S. L., Cerdeira S., Linares E. O. y Morales A., Características y pronóstico de la circulación de las aguas de las plataformas suroccidental y noroccidental y de su influencia sobre la distribución espacio – temporal de la temperatura y la salinidad mediante la modelación numérica. Informe de resultado del proyecto: "Desarrollo de métodos y tecnologías para el pronóstico de procesos oceanográficos en la plataforma insular cubana". Archivo Científico de la Agencia de Medio Ambiente (AMA), del CITMA. 160 pp. 2005 b.
36. Hernández M., Cerdeira S., Arriaza L., Rodas L., Lorenzo S., Simanca J., Pérez de los Reyes R., Gutiérrez J., Rivero M., Villaverde M., García R. y Niévares A., Informe Final de Proyecto: