

# CONTRIBUCION A LA GESTION AMBIENTAL DEL GOLFO DE BATABANÓ, CUBA: MODELACION NUMERICA DE CORRIENTES MARINAS.

Liliam Arriaza O. <sup>1\*</sup>, Libertad Rodas F. <sup>1</sup>, Jacqueline Simanca C. <sup>1</sup>, Sergio L. Lorenzo S. <sup>1</sup>, Daniel E. Milian L. <sup>2</sup> y Pedro Romero <sup>2</sup>.

(1) Instituto de Oceanología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Ave 1ra No. 18406, Playa, Ciudad Habana, Cuba.

(2) Centro de Investigaciones Químicas y Ambientales. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Ave. Salvador Allende y Luaces, Quinta de los Molinos, Ciudad Habana, Cuba.

(\*) Autor correspondiente: Email: [liliam@oceano.inf.cu](mailto:liliam@oceano.inf.cu).

## RESUMEN

La contaminación producida en aguas interiores y marinas constituye una problemática que se ha ido agravando durante los últimos años en el mundo. La ubicación en la zona marino-costera de sustancias contaminantes provocada por vertimientos de desechos y residuales depende del comportamiento espacio-temporal de las corrientes marinas. En el golfo de Batabanó se aplicó el Sistema de Cálculo de Corrientes Marinas para Cuba (SISCOM) con el objetivo de estimar este comportamiento. Tal sistema fue creado adicionando nuevas formulaciones matemáticas a un modelo numérico, completamente validado a escala regional, para ajustarlo a las características físico-geográficas del golfo. Su aplicación con alta resolución, brinda estimaciones consideradas válidas para representar el comportamiento espacio-temporal de la dinámica del golfo. Cualquier residual arrojado en Surgidero de Batabanó o la ensenada de La Broa será trasladado muy lentamente por las corrientes marinas ( $1 \text{ cm.s}^{-1}$  y  $4.7 \text{ cm.s}^{-1}$ ) hacia el centro y Suroeste del placer somero y el Oeste de la isla de la Juventud, afectando por un largo periodo de tiempo la costa Suroeste del cuerpo de agua. Los desechos lanzados a las aguas oceánicas adyacentes al golfo serán conducidos a través de su periferia durante el flujo de la marea, con velocidades entre  $15 \text{ cm.s}^{-1}$  y  $29.5 \text{ cm.s}^{-1}$ , hasta el Norte de la isla de la Juventud, afectando inmediatamente las zonas Suroeste y Sureste del golfo; mientras que hacia la parte central y Noreste del golfo el desplazamiento será más lento, con velocidades entre  $1 \text{ cm.s}^{-1}$  y  $3 \text{ cm.s}^{-1}$ .

Palabras claves: aguas oceánicas; modelo numérico; corrientes; ASW, Cuba.

## ABSTRACT

The spatial and temporal distribution of organic compounds and wastes in the ocean depend on the existing marine currents. Therefore its knowledge is required, for the Environmental monitoring of sea waters. In this study a new system for calculating marine currents is applied in the gulf of Batabanó. The system is based on a regional numerical model which is validated by direct measurements; mean currents in eleven stations show good agreement. Organic compounds or wastes in the Surgidero de Batabanó or La Broa will drift slowly (at about  $1$  to  $4.7 \text{ cm.s}^{-1}$ ) towards the center and Southwest part of the gulf and the West part of Isla de la Juventud, affecting by long time period the Southwest coast of the gulf. Any pollutant in the adjacent oceanic waters of the gulf will go through the peripheral open boundary with a mean velocity between  $15$  to  $29.5 \text{ cm.s}^{-1}$  reaching the North part of Isla de la Juventud; thus affecting quickly this island and the Southwest y Southeast coasts of gulf. Pollutants reaching the central and Northeast part of gulf will drift slowly (at about  $1$  to  $3 \text{ cm.s}^{-1}$ ).

Key words: oceanic waters; numerical model; currents; ASW, Cuba.

La contaminación producida en aguas interiores y marinas constituye una problemática que se ha ido agravando durante los últimos años, aunque en Cuba la misma es puntual y en la mayoría de los casos no se traslada hasta la zona oceánica. Es parte de la Estrategia Ambiental Nacional de cubana reducir la contaminación provocada en su zona costera y marina por vertimiento de residuales agrícolas, industriales, urbanos y de embarcaciones sin un tratamiento conveniente.

Para gestionar la contaminación en la zona costera y en particular de la plataforma insular cubana, es necesario conocer el comportamiento espacio-temporal de las corrientes marinas.

El estudio de las corrientes marinas necesita de la teoría, de las observaciones y de la modelación físico-matemática. Ninguna de estas herramientas es suficiente por sí sola y la última, es la única que permite una visión general y a la vez detallada de las corrientes marinas (Stewart, 2002).

El objetivo de la investigación es brindar información sobre las corrientes marinas en el golfo de Batabanó con la exactitud requerida, y con mayor resolución espacio-temporal que la obtenida hasta la fecha. Esta información debe ampliar y corroborar las particularidades de la circulación de las aguas del golfo y contribuir a su gestión ambiental. Para ello se desarrolla, un nuevo Sistema de Cálculo de Corriente Marinas para Cuba (SISCOM), a partir de un modelo numérico completamente validado a escala regional (Moores *et al.*, 2000, citado por Baban y Jules-Moore, 2005). Tal sistema permite estimar las corrientes marinas generadas por todas las fuerzas involucradas en su dinámica y toma en cuenta la influencia de las características de la plataforma insular cubana sobre ellas.

En el artículo se presentan y discuten los resultados de la modelación numérica de las corrientes marinas empleando el SISCOM, y la influencia de la circulación marina estimada sobre la deriva de cualquier desecho arrojado, en las aguas del golfo de Batabanó o en las aguas oceánicas adyacentes.

## ÁREA DE ESTUDIO

El golfo de Batabanó o plataforma Suroccidental se encuentra ubicado en la región Suroccidental de Cuba. Limita al Norte con el litoral Sur de las provincias de Pinar del Río, La Habana y Matanzas; al Este, con el golfo de Cazones; al Oeste con la provincia Pinar del Río; y al Sur, con el archipiélago de Los Canarreos (Fig. 1). Esta zona, está rodeada por uno de los mayores humedales del mar Caribe. Estos ecosistemas tienen una notable importancia ecológica-económica, por su alto potencial productivo, además de servir de refugio a muchas especies de interés comercial, sobre todo en su estado juvenil como la langosta común y camarones (Hernández *et al.*, 1998).

## MATERIALES Y METODOS

Se emplean las formulaciones y códigos originales del modelo numérico Princeton Ocean Model (POM). Las ecuaciones básicas son: la de continuidad, la del movimiento, las de conservación de temperatura y salinidad (Blumberg y Mellor, 1987), que describen los campos de velocidad, superficie libre, temperatura y salinidad, e incluye además, las ecuaciones que forman parte del Modelo de Cerradura Turbulenta (Mellor y Yamada, 1974; Arriaza y Milian, 2005).

Se emplea una batimetría con espaciamiento horizontal de 3.6 km (Smith and Sandwell, 1997), el cual determina el empleo de una resolución horizontal similar de trabajo. A su vez, la rejilla numérica horizontal de 3 600 x 3600 m implica 109 x 38 nodos de cálculo.

Se modelan las corrientes marinas en condiciones de régimen de vientos sostenidos entre 2.7 y 3 m.s<sup>-1</sup> del primer y segundo cuadrante (Hernández *et al.*, 2005) y marea con amplitud promedio de 25 cm (Rodríguez y Rodríguez, 1983). Además, la aplicación del SISCOM, con la finalidad de estimar las corrientes marinas alrededor de Cuba (Arriaza *et al.*, 2006) permite obtener su comportamiento en la frontera oceánica del golfo y el intercambio con la plataforma.

Para estimar la exactitud de los resultados se utiliza información correntométrica correspondiente a 4 cruceros de investigación oceanográfica efectuados en la periferia de las plataformas Suroccidental y Suroriental de Cuba desde julio de 1988 a agosto de 1989. Durante estos cruceros se realizaron mediciones de corrientes marinas en 6 estaciones en la periferia Sur del golfo de Batabanó. También se emplean los datos de Viamontes (1990) (Fig. 2). El número de observaciones por estación está en correspondencia con series horarias entre 15 y 30 días.

## RESULTADOS.

### Planteamiento del problema y desarrollo del sistema de cálculo SISCOM.

Como el golfo de Batabanó es homogéneo en la vertical (Emilsson y Tápanes, 1971; Lluís, 1972), en el análisis se emplean los valores de las componentes horizontales de la velocidad de la corriente, promediadas de fondo a superficie en tres niveles sigma ( $\sigma$ ).

Los principales agentes que afectan el movimiento de las aguas sobre la plataforma Suroccidental cubana son el viento, la marea y las corrientes marinas en el océano adyacente (Emilsson y Tápanes, 1971), por lo que se incluye el cálculo de la superficie libre del mar para considerar el efecto de la marea.

Solucionar el problema requiere condiciones iniciales y de frontera para: las componentes de la velocidad (U, V), la temperatura (T), la salinidad (S) y la superficie libre ( $\eta$ ). Los valores iniciales para cada una de estas variables son tomados acorde a

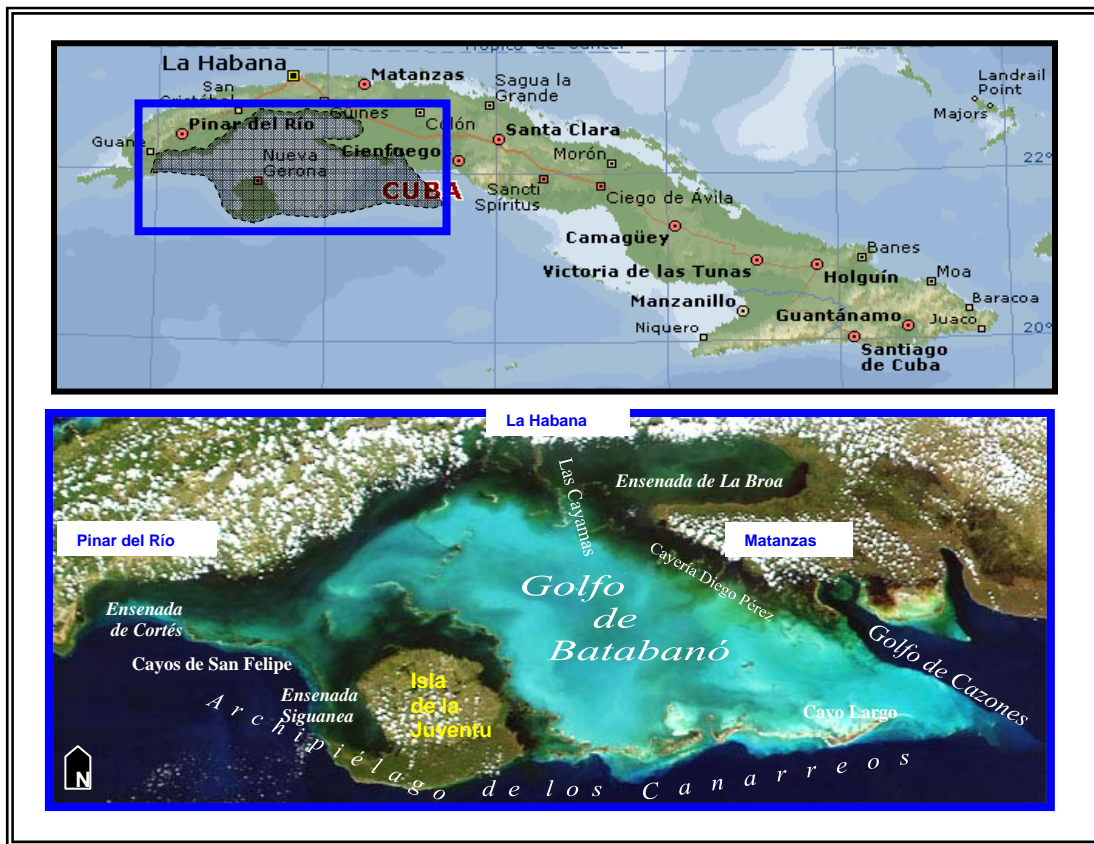


Fig. 1. Ubicación geográfica del golfo de Batabanó, Cuba.



Fig. 2. Ubicación de las estaciones empleadas para validar el SISCOM en el golfo de Batabanó, Cuba.

promedios históricos. En la superficie del océano se impone un forzamiento provocado por un viento del Este constante para todo el golfo, entre 2.7 y 3 m.s<sup>-1</sup>, (Hernández *et al.*, 2005) y se emplearon promedios históricos de temperatura y salinidades constantes.

La selección de las condiciones en las fronteras laterales abiertas es el más complejo problema a resolver para ajustar un modelo numérico. Dichas condiciones implican introducir valores conocidos de las variables: U, V, T, S y  $\eta$ , o de sus derivadas, o una combinación de ambas. Ninguna de las posibles condiciones para tales fronteras, incluidas en los códigos originales del POM (Mellor y Yamada, 1996), corresponde a la necesaria para reproducir la marea en el golfo de Batabanó. Aunque este cuerpo de agua es casi cerrado, su frontera Sur permite un intercambio con las aguas del Mar Caribe a través de los distintos canales y pasos entre los cayos del archipiélago de los Canarreos, y para esta frontera se necesita una condición que reproduzca tal intercambio.

La condición de frontera necesaria al Sur de Batabanó es la solución de la ecuación (1) en derivadas parciales de la superficie libre con respecto al tiempo y a la componente tangencial a la dirección Sur-Norte:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + c \frac{\partial \eta}{\partial y} = f(y, t) \quad (1)$$

donde  $c = \sqrt{g \cdot H}$  es la velocidad de ondas externas;  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  es la aceleración de la gravedad; H es la profundidad máxima en la frontera del cuerpo de agua;  $f(y, t)$  es una función que describe la marea en la zona.

La solución general de esta ecuación es:

$$\eta(y, t) = C(y) \text{sen}(ky) \cos(\sigma t)$$

En particular, para una onda de marea semidiurna:

$$C(y) = \eta_i = \eta_a \left( \frac{H}{H_a} \right)^{\frac{3}{4}} \quad \text{donde}$$

$\eta_i$  - amplitud de la marea en el interior del cuerpo de agua;  $\eta_a$  - amplitud de la marea en la frontera abierta del cuerpo de agua;  $H_i$  - Profundidad en el interior del cuerpo de agua;  $H_a$  - profundidad en la frontera abierta del cuerpo de agua;  $k = 2\pi / \lambda$  y  $\lambda$  - longitud de la onda semidiurna;  $\sigma = 2\pi / T$  y T - Periodo de la onda semidiurna.

Para desarrollar el sistema (SISCOM), los códigos originales del POM se modifican con la adición de nuevas subrutinas BCOND (1) y BCOND (2) (Mellor y Yamada, 1996). En tales subrutinas se agrega al modelo las formulaciones anteriores y queda establecida, numéricamente y computacionalmente, una condición de frontera abierta adecuada a las aguas someras del litoral marino-costero cubano. También, se reestructuran los cálculos originales de  $\eta$  y de las componentes de horizontales de la corriente para obtener la solución de la ecuación (1) y de las corrientes marinas de manera simultánea.

### Corrientes marinas estimadas en condiciones de régimen meteorológico habitual del golfo de Batabanó.

La ejecución del SISCOM reproduce la evolución de las corrientes marinas durante 30 días reales para 4028 puntos del golfo. Empleando tales series de corrientes marinas estimadas, se calculan el promedio diario (Fig. 3) y los promedios horarios. La hora uno representa la primera hora de un flujo de marea semidiurna. La Fig. 4 (A, B y C) muestra la dirección de las corrientes marinas, sobre el punto medio de cada celda de cálculo de la rejilla numérica y en los tiempos 3 horas o tercera hora de flujo de marea, 5 horas o quinta de dicho flujo y 9 horas o tercera hora del reflujo.

Según la simulación, en cualquier escala de tiempo, las corrientes marinas son de mayor intensidad y variabilidad en cuanto a dirección en la frontera abierta ubicada al Sur del golfo de Batabanó que en su interior. Resultan más intensas durante el flujo y el reflujo (hasta 48.9 cm.s<sup>-1</sup> y 50.2 cm.s<sup>-1</sup>, respectivamente) y varían de dirección según la fase de marea, manteniéndose varias entradas y salidas de agua con velocidad entre 3 y 4.7 cm.s<sup>-1</sup>, como parte del movimiento neto (Figs. 3 y 4). La dirección del movimiento general simulada es de Este a Oeste y los promedios temporales para cada nodo de la rejilla horizontal de cálculo presentan valores entre 1 y 4.7 cm.s<sup>-1</sup> (Fig. 3).

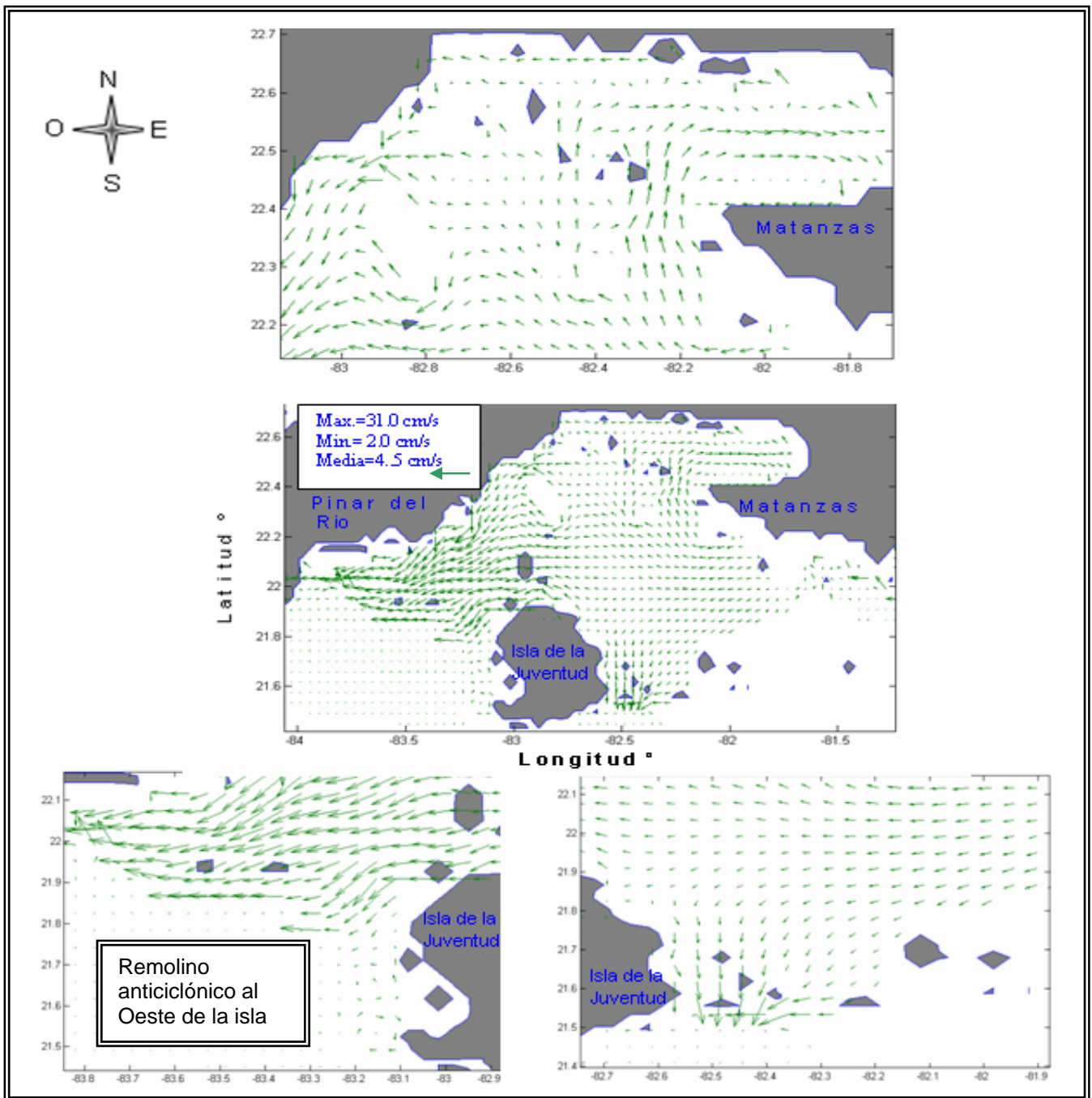


Fig. 3. Esquema general de circulación del golfo de Batabanó, Cuba.

## DISCUSION

La comparación entre los resultados de la modelación y las mediciones permite establecer el grado de exactitud de éstos. Se comparan las medias temporales de modulo de la corriente, en los nodos de la rejilla coincidentes con las estaciones correntométricas, con las medias

temporales del módulo de las mediciones. La comparación entre valores horarios no es correcta en esta aplicación, debido a que, al ejecutarse el modelo con situaciones medias de viento la información de salida es representativa de situaciones temporales medias o de régimen meteorológico habitual y es solamente comparable con medias temporales de mediciones.

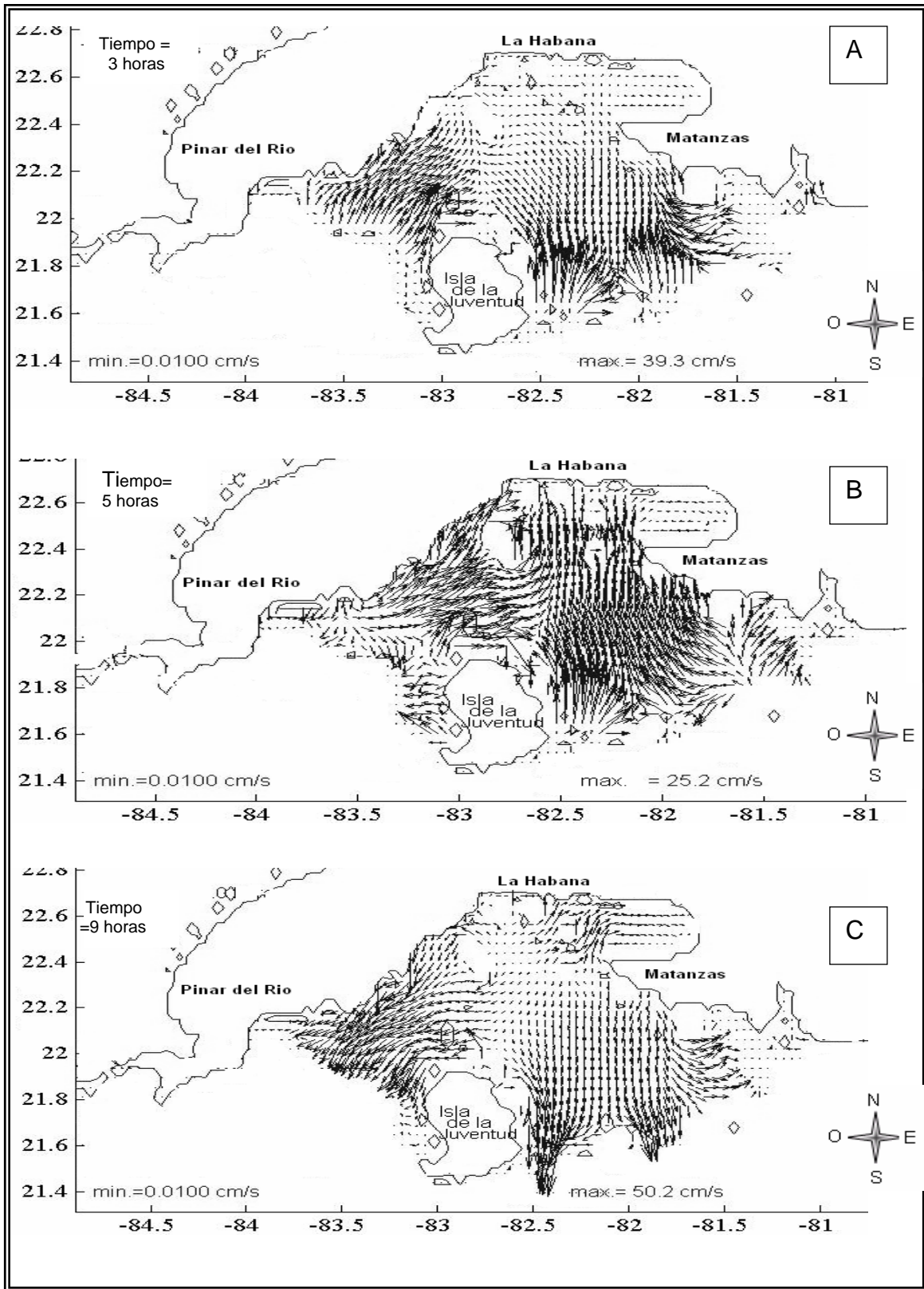


Fig. 4. Promedios horarios de las corrientes marinas a partir de una simulación de 30 días reales con el SISCOM. A: 3 horas; B: 5 horas; C: 9 horas.

Tabla 1. Comparación entre corrientes marinas medidas y estimadas.

Estadísticas Vel.	ESTACIONES											media
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
V. media. Medida (cm.s <sup>-1</sup> )	5.22	4.85	3.41	3.06	3.75	6.40	7.23	3.60	4.10	3.30	1.20	4.19
V. media. Estimada (cm.s <sup>-1</sup> ). (SISCOM)	4.70	4.60	3.20	3.00	3.50	4.30	4.70	3.70	4.20	4.00	1.70	3.78
Error Absoluto (cm/s). (SISCOM)	-0.52	-0.25	-0.21	-0.06	-0.25	-2.10	-2.60	0.10	0.10	0.70	0.50	<b>0.41</b>
Error relativo % (SISCOM).	10	5	6	2	7	32	35	1	2	17	29	<b>10</b>

En las estaciones 8 y 9 se calcularon los errores mayores de  $-2.10 \text{ cm.s}^{-1}$  y  $-2.60 \text{ cm.s}^{-1}$ , respectivamente (Tabla 1), que indican una subestimación del flujo. Lo que puede ser provocado por una interpretación deficiente sobre el verdadero contorno del Archipiélago de los Canarreos, debida a que el paso de la rejilla horizontal de 3 600 m aún resulta insuficiente para las dimensiones de algunos pasos al Sur del golfo. Los mayores errores de sobrestimación ( $0.70$  y  $0.50 \text{ cm.s}^{-1}$ ), en las estaciones 12 y 13 (Fig. 2), se deben a que el gradiente batimétrico entre dos celdas adyacentes alcanza los 200 m, y la solución es disminuir el paso de la rejilla de cálculo (Mellor, *et al.*, 1998). El error medio de estimación para la intensidad de la corriente es de  $0.41 \text{ cm.s}^{-1}$ . Este resultado implica un rango medio del 10% como diferencia entre las corrientes marinas estimadas y medidas (Tabla 1). El error medio relativo es inferior al 20%, por tanto son válidas las corrientes marinas estimadas (Mellor *et al.*, 1998).

Las generalidades estimadas en el movimiento de las aguas interiores del golfo confirman lo planteado por autores como Emilsson y Tápanes (1971) y Blázquez *et al.*, (1982 y 1988). Los resultados de la modelación brindan nuevos detalles espacio-temporales sobre las corrientes marinas, como su distribución horizontal y su comportamiento horario y durante cada fase de marea. Se corroboran y amplían particularidades de la circulación tales como:

- a) La presencia de un remolino anticiclónico al Oeste de la isla de la Juventud (Fig. 3).
- b) A la entrada de la ensenada de la Broa, las corrientes marinas manifiestan curvaturas ciclónicas y anticiclónicas, más o menos cerradas en dependencia del flujo y el reflujo (Figs. 3 y 4).

c) En el interior del golfo, el movimiento del agua presenta retardo con respecto a cada fase de marea (Fig. 4).

d) En Surgidero de Batabanó la influencia de la marea es casi nula (Fig. 5).

e) Al Este de la isla de la Juventud la intensidad de las corrientes marinas y la influencia de la onda de marea semidiurna es mayor que a su Oeste (Fig. 5).

f) La Fig. 5 A muestra valores negativos de los promedios horarios de las componentes U y V de las corrientes en un nodo de cálculo al Oeste de la isla de la Juventud, lo que evidencia un movimiento permanente hacia el Suroeste, lento e independiente del movimiento generado por la marea. Esta situación, ocurre de manera similar en diferentes nodos pertenecientes a la frontera abierta, y a pesar del predominio de la marea en la dirección e intensidad del movimiento de las aguas en los pasos más estrechos hacia el mar Caribe, corroborando numéricamente la presencia de varias entradas y salidas como parte del movimiento neto planteada por Simanca *et al.* (2005). Tal situación es de carácter permanente, con velocidades, de menor intensidad que las del flujo y reflujo horario, que pueden estar relacionadas con la circulación de las aguas oceánicas adyacentes, donde, las corrientes marinas muestran una gran variabilidad direccional debido a la existencia de remolinos ciclónicos y anticiclónicos cercanos al talud, e intensidades medias de  $100 \text{ cm.s}^{-1}$  con movimiento predominante hacia el Oeste (Fig. 6).

La resolución espacio-temporal de los resultados permite estimar probables trayectorias de contaminantes, objetos u organismos cuyo movimiento horizontal no difiera substancialmente de las corrientes marinas.

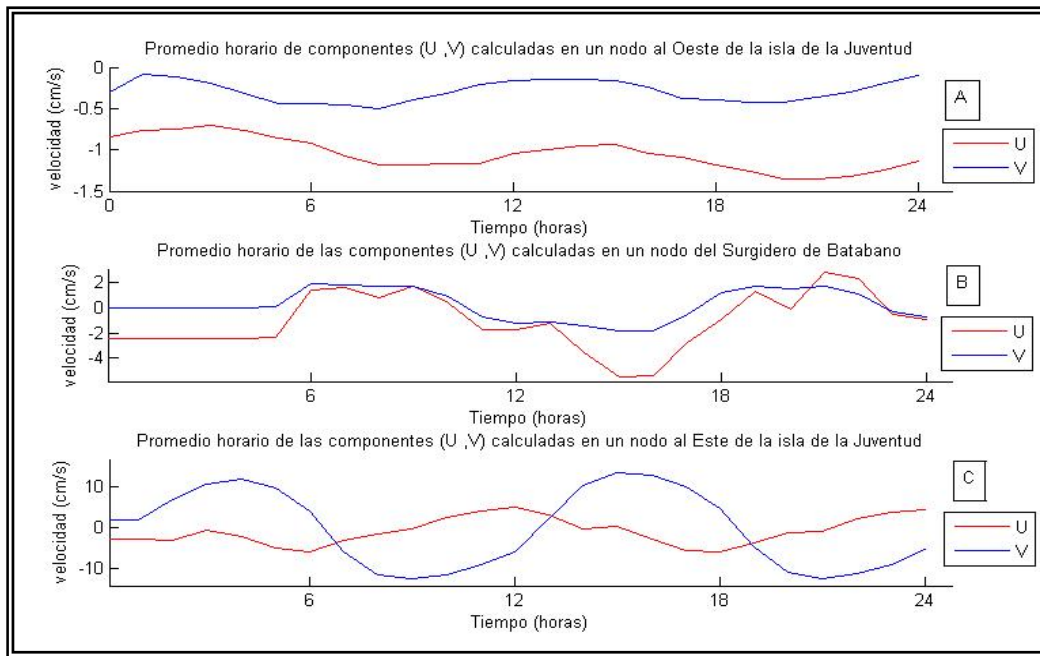


Fig. 5. Comportamiento horario de las componentes de las corrientes marinas calculadas en diferentes nodos de la rejilla de cálculo.

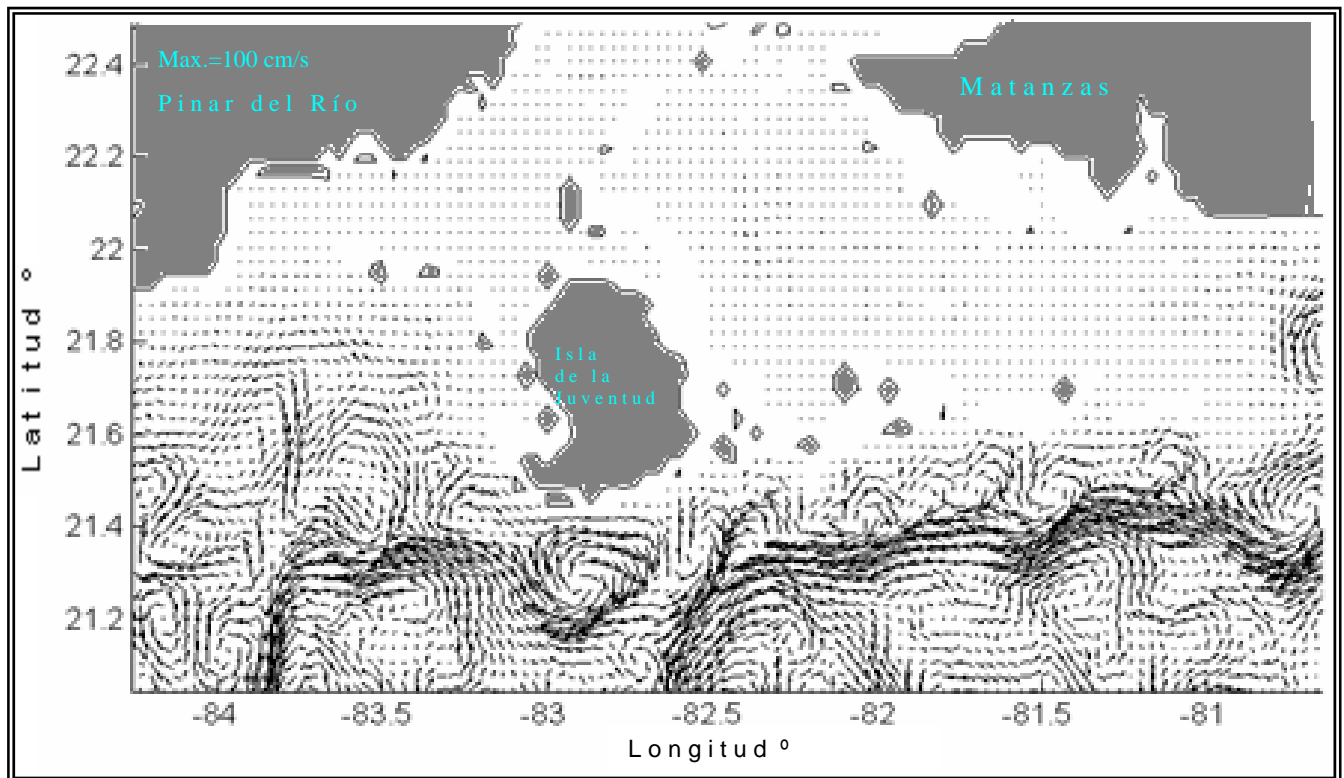


Fig. 6. Corrientes marinas estimadas en las aguas oceánicas adyacentes al golfo de Batabanó, Cuba

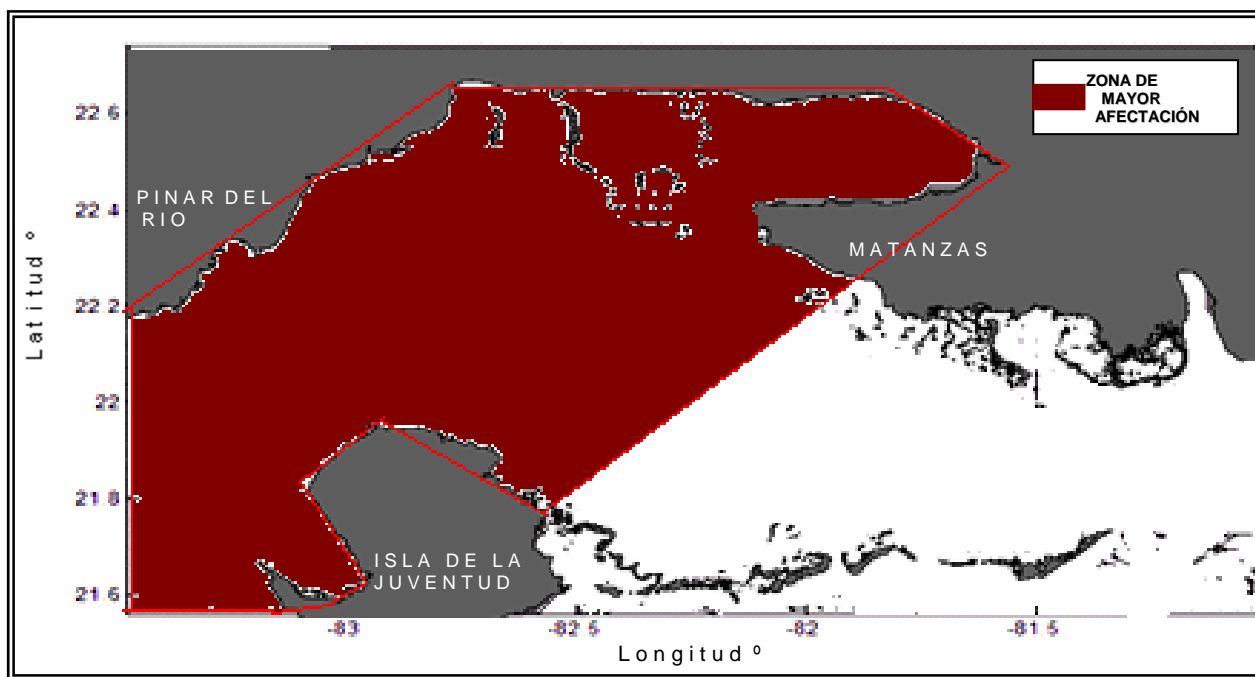


Fig. 7. Propagación de una contaminación producida en La Broa o el Surgidero de Batabanó, Cuba

En situación meteorológica de régimen habitual, un contaminante, si es arrojado en Surgidero de Batabanó o ensenada de La Broa será trasladado por las corrientes marinas muy lentamente (con velocidades entre  $1\text{cm/s}$  y  $4.7\text{ cm.s}^{-1}$ ) hacia el centro y el Suroeste del golfo y el Oeste de la isla de la Juventud, pero continuará afectando por un largo período de tiempo la zona Noroeste del golfo (Fig. 7). Mientras que, desde las aguas oceánicas adyacentes al golfo puede ser conducido a través de la frontera oceánica por el flujo de marea con una velocidad promedio de entre  $15\text{cm/s}$  y  $29,5\text{ cm/s}$  hasta el Norte de la isla de la Juventud, siendo así la afectación inmediata para esta isla y las costas Suroeste y Sureste del golfo (Fig. 8). Sin embargo, su desplazamiento de desde el océano hacia la parte central y Noreste del golfo será lento, con velocidad de entre  $1\text{ cm.s}^{-1}$  y  $3\text{ cm.s}^{-1}$ .

En general, la contaminación producida tanto en el interior como el exterior del golfo alcanzará a afectar su parte Suroeste y podría permanecer afectando el Noroeste de la isla de la Juventud por horas, debido al predominio en intensidad y dirección del movimiento oscilatorio provocado por la marea (Fig. 8).

## CONCLUSIONES

1. Los resultados de la modelación numérica tienen la resolución espacio-temporal adecuada y la exactitud requerida para estimar el

comportamiento de las corrientes marinas en el golfo de Batabanó.

2. La dirección general del movimiento de las aguas interiores del golfo es de Este a Oeste con intensidades entre  $1$  y  $4.7\text{ cm.s}^{-1}$ . En cualquier escala de tiempo, las corrientes marinas son de mayor intensidad y de mayor variabilidad en cuanto a dirección en la frontera abierta que en el interior del golfo, y resultan particularmente más intensas durante el flujo y el reflujo (hasta  $48.9\text{ cm.s}^{-1}$  y  $50.2\text{ cm.s}^{-1}$ , respectivamente). En toda la frontera oceánica del golfo, la dirección e intensidad de las corrientes marinas no está completamente determinada por el flujo o el reflujo de marea.

3. En situación meteorológica de régimen habitual, un contaminante trasladado por las corrientes marinas desde Surgidero de Batabanó o ensenada de La Broa afectará por un largo período de tiempo su porción Oeste. En condiciones similares, desde las aguas oceánicas adyacentes al golfo de Batabanó pueden ser afectadas de manera inmediata las costas Suroeste y Sureste del golfo y la isla de la Juventud, mientras que, la afectación a las partes central y Norte del golfo será retardada por las particularidades de la circulación marina en su interior.

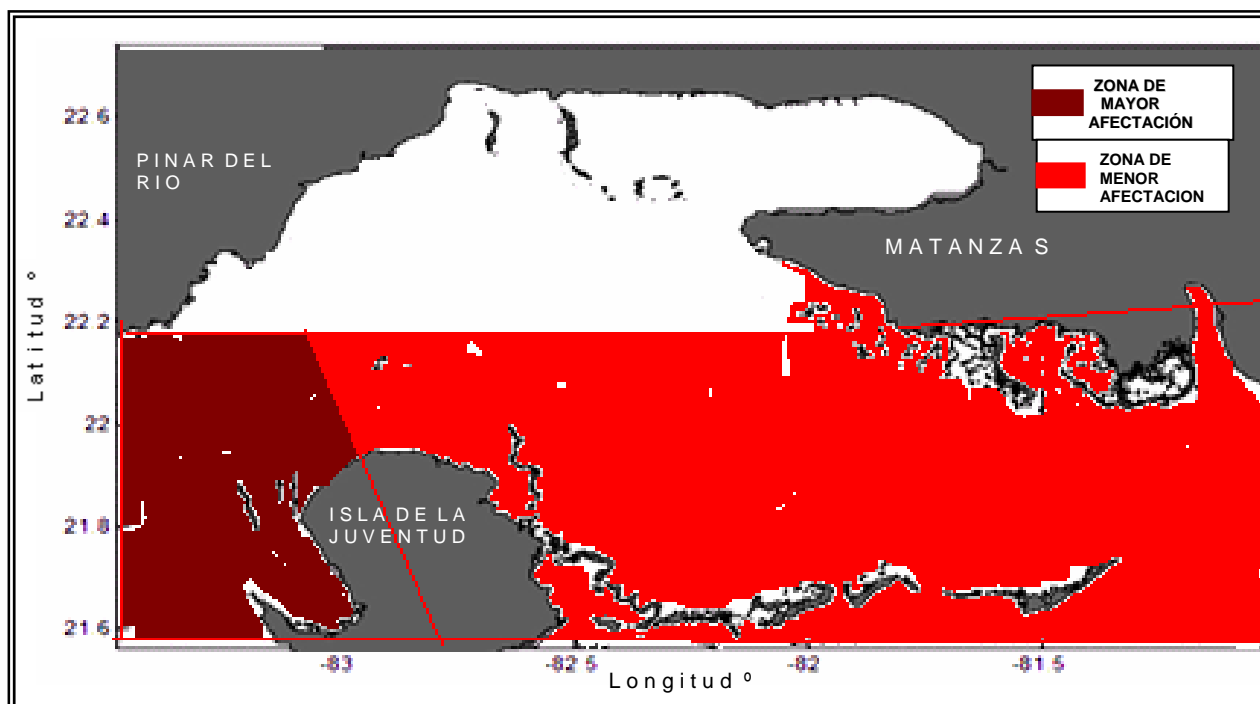


Fig. 8. Propagación de una contaminación producida en las aguas oceánicas adyacentes al golfo de Batabanó, Cuba.

4. En general, la contaminación producida tanto en el interior como el exterior del golfo de Batabanó alcanzará a afectar su parte Suroeste y podría permanecer afectando el Noroeste de la isla de la Juventud por horas.

#### REFERENCIAS

Arriaza, L. y D.E. Milian L. (2005): Aspectos novedosos del Princeton Ocean Model para la modelación de procesos físicos en el Intra Americas Sea. *Rev. Contribución a la educación y la protección ambiental*. Vol. 6, ISBN 959-7136-35-X, pp 104-112.

Arriaza, L., L. Rodas, J. Simanca, O. Ramírez y R. García (2006): Cartas de corrientes superficiales obtenidas de la modelación numérica. *Instituto de Oceanología. Informe Científico – Técnico*, 210 pp.

Baban S. M. J and S. Jules-Moore (2005): An Evaluation of Water Circulation and Contaminant Transport Models for the Intra-American Seas. [http://www.eng.uwi.tt/units/wije/archives/2702\\_jan05/water\\_circulation](http://www.eng.uwi.tt/units/wije/archives/2702_jan05/water_circulation).

Blázquez, L y E. Romeu (1982): Contribución al estudio de la circulación general del Golfo de

Batabanó. Zona B. Cuba, Instituto de Oceanología, Academia de Ciencias de Cuba, *Reporte de Investigación* No 1:1-33.

Blázquez, L, J.P. Rodríguez-Portal, I. Rosabal y R. Calderón (1988): Mediciones de corrientes marinas en el Golfo de Batabanó. Cuba, Instituto de Oceanología, Academia de Ciencias de Cuba, *Reporte de Investigación* No 14: 20 pp.

Blumberg, A.F. and G.L. Mellor (1987): A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: *Three-Dimensional-Coastal-Ocean-Model* (N. Heaps, ed.), vol. 4, American Geophysical Union, Washington, D.C., pp:1-16.

Emilsson, I. y Tápanes J. (1971): Contribución a la hidrología de la plataforma Sur de Cuba. Cuba, Academia de Ciencias de Cuba, *Serie Oceanológica* No 9, 16 pp.

Hernández M. y J. Simanca (1998): La componente no periódica del nivel medio del mar en el dominio de las frecuencias medias. En: *Desarrollo de las Técnicas de Predicción de las Inundaciones Costeras, Prevención y Reducción de su Acción Destructiva*. La Habana, Programa de las Naciones

- Unidas para el Desarrollo (PNUD), *Informe Técnico*, pp. 72-89.
- Hernández M., L. Rodas, L. Arriaza, J. Simanca, S. L. Lorenzo, S. Cerdeira, E. O. Linares y A. Morales (2005): 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 del Instituto de Oceanología*. 160 pp.
- Lluis, M. (1972): Estudios hidrológicos del golfo de Batabanó y de las aguas oceánicas adyacentes. Cuba, Academia de Ciencias de Cuba, *Serie Oceanológica* No 14 pp.
- Mellor, G.L. and T. Yamada (1974): A hierarchy of turbulence closure model for planetary boundary layers. *Journal of Atmospheric Sciences* 31(7): 1791-1806.
- Mellor, G.L. and T. Yamada (1996): User's guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model. Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton, NJ, <http://www.aos.princeton.edu.WWWPUBLIC/htdo cs.pom.>, 40 pp.
- Mellor, G.L., L-Y. Oey and T. Ezer (1998): Sigma Coordinate Pressure Gradient Errors and the Seamount Problem. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* (15)5:1122-1131.
- Rodríguez J. y J. Rodríguez (1983): Las mareas en las costas cubanas. Cuba, Instituto de Oceanología, Academia de Ciencias de Cuba, *Reporte de Investigación* No 8, 22 pp.
- Simanca, J. L. Fernández, J. Viamontes, O. Ramírez y L. Arriaza (2005): Características estadísticas de las componentes periódicas y no periódicas de la corriente sumaria en el golfo de Batabanó. *Rev. Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*. Vol. 6, ISBN 959-7136-35-X
- Stewart, R.H. (2002); Introduction To Physical Oceanography. Department of Oceanography, Texas A & M University, 350 pp.
- Smith, W.H.F. and D.T. Sandwell (1997): Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, vol. 277:1957-1962.
- Viamontes, F.J. (1990): Carretera turística desde Punta del Este hasta Cayo Largo del Sur. GEOCUBA Estudios Marinos, Instituto Cubano de Hidrografía, *Informe Científico - Técnico de las 1ra, 2da y 3ra etapas*, 240 pp.

Aceptado: 13 de abril de 2008