

## CORRIENTES MARINAS ESTIMADAS EN LA PLATAFORMA SURORIENTAL CUBANA MARINE CURRENT ESTIMATIONS IN SOUTHEAST CUBAN SHELF.

Liliam Arriaza<sup>1</sup>, Jacqueline Simanca<sup>1</sup>, Libertad Rodas<sup>1</sup>, Sergio Lorenzo<sup>1</sup>, Marcelino Hernández<sup>1</sup>, Esteban Omar Linares<sup>1</sup>, Daniel Milian<sup>2</sup>, Pedro Romero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Oceanología

Ave 1ra N° 18406, Playa, Ciudad de la Habana, Cuba. liliam@oceano.inf.cu

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Químicas y Ambientales

Instituto Superior de tecnologías y Ciencias Aplicadas

Ave Salvador Allende y Luaces, Quinta de los Molinos, Ciudad de la Habana, Cuba

### RESUMEN

Se presentan los resultados de la aplicación de una metodología para la estimación de corrientes marinas en Cuba, cuyos fundamentos son la herramienta computacional SIMulación de Corrientes (SIMCO), y el SIStema de cálculo de Corrientes Marinas (SISCOM). El objetivo es obtener la variación espacio-temporal del movimiento de las aguas de la plataforma Suroriental cubana. El SIMCO describe la circulación de las aguas con errores absolutos medios de 1.74 cm/s y 4.71 cm/s en los golfos de Ana María y Guacanayabo respectivamente. Su efectividad es superior en el golfo de Ana María y su operacionalidad permite efectuar pronósticos a corto y mediano plazos frente a eventos extremos de escala sinóptica. El SISCOM es eficiente con un error absoluto medio de 1.23 cm/s. Ambos modelos son válidos para estimar el comportamiento espacio-temporal de las corrientes marinas en el golfo de Ana María con errores medios entre el 6 y el 10 %; mientras, que la estimación del patrón de circulación medio de la plataforma completa puede ser obtenido aplicando el SISCOM con errores medios entre el 6 y el 13%. Ambos modelos se retroalimentan, permitiendo corroborar analíticamente las características de la circulación de régimen en la zona y estimar nuevos detalles en escalas temporales y espaciales disímiles. La velocidad de las corrientes marinas en ambos golfos es en general débil con valores medios que no sobrepasan los 13 cm/s, aunque en los canales de entrada pueden alcanzar un valor tres veces mayor, como el máximo medido en el canal de Cayo Bretón (42 cm/s).

**Palabras clave:** modelos matemáticos, corriente marinas, plataforma insular cubana, Golfo de Ana María, Golfo de Guacanayabo

### ABSTRACTS

Two mathematical models are applied in the Southeast Cuban shelf for obtaining the spatial and temporal behavior of the marine currents: The operational tool Simulation of Currents (SIMCO), and the thermo-hydrodynamic model Princeton Ocean Model (POM). The SIMCO describes the circulation of the waters in this area with mean relative errors of 1.74 cm/s and 4.71 cm/s in Ana María and Guacanayabo respectively and its an operator system that allows making forecasts to short and medium term in front of extreme events of synoptic scale. SIMCO's credibility is superior in Ana María. The POM is efficient with mean relative error of 1.23 cm/s. Both models can be used together, allowing to corroborate the mean circulation characteristics in the area and to estimate new details in dissimilar time and space scales. The speed of the marine currents in both gulfs is in general weak, with mean values that don't surpass the 13 cm/s, although in the entrance channels can be higher, as maximum value measured in the channel of Breton Key (42 cm/s).

**Key words:** mathematical models, marine currents, Cuban shelf, Golfo de Ana María, Golfo de Guacanayabo

### INTRODUCCION

Según Stewart (2002), para conocer la evolución de los procesos físicos que ocurren en el océano, en particular de las corrientes marinas, se necesita de la teoría, las observaciones, la modelación y simulación de estos procesos, sin embargo ninguno es suficiente por si solo. También plantea que la modelación y simulación es la única que permite una visión general y a la vez detallada de estos procesos.

La modelación y simulación de procesos oceanográficos, es una herramienta potente, alternativa y complementaria, actualmente empleada para garantizar el correcto diseño de los Sistemas de Monitoreo de cuerpos de agua marino-costeros (Gopaul y Wolf, 1996; Connolly, Blumberg y Quafirini., 1999; Xie y Eggleston, 1999; Blumberg y Kim, 2000; Annan, 2001; Cai, 2001; Stewart, 2002; Blumberg, O'Neil y Kim 2003; Arriaza, Milian, Rodas y Simanca 2006 a).

La herramienta computacional SIMulación de COrrientes (SIMCO) es parte de una metodología para la estimación del comportamiento de las corrientes marinas en zonas de la plataforma cubana. Se basa en un modelo físico-matemático analítico y ha sido empleada para estimar la circulación en escala de horas en la bahía de Santiago de Cuba y el golfo de Batabanó (Arriaza, Rodas y Hernández 2002; Rodas, Arriaza y Hernández, 2003; Arriaza, Hernández, Rodas y Simanca, 2004; Arriaza, Hernández, Rodas y Simanca, 2005 a; Arriaza, Milian, Rodas, Simanca y Romero, 2006 b).

El SISistema de cálculo de Corrientes marinas para Cuba (SISCOM) se basa en el modelo numérico Princeton Ocean Model (POM) (Blumberg y Mellor, 1987). Este modelo es el más adecuado, de los considerados validados en la región oceánica que incluye a Cuba, para estimar la circulación marino-costera (Baban S. M. J y S. Jules-Moore, 2005). Además, el POM ha sido ampliamente empleado para la simulación de la dinámica tanto en aguas costeras como oceánicas (Mellor y Yamada, 1982; Ezer y Mellor, 1994; Blumberg y Kim, 2000; Blumberg et al., 2003; Lee y Mellor, 2003; Oey y Lee., 2003; Arriaza y Milian, 2005 b; Arriaza et al., 2006 a y Arriaza, Rodas, Simanca, Ramirez y García, 2006 c).

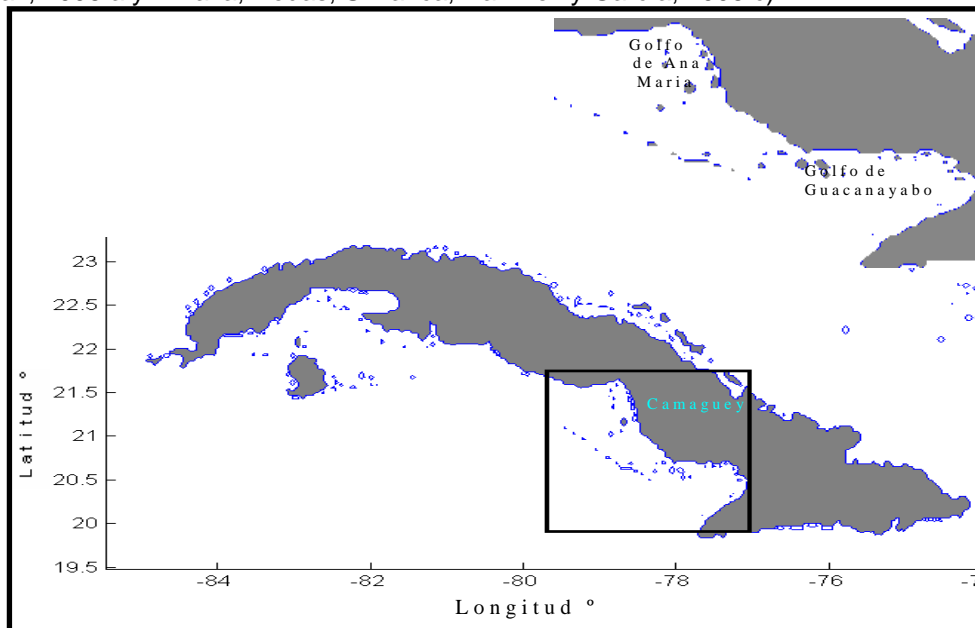


Figura 1. Ubicación geográfica de los golfos de Ana María y Guacanayabo o plataforma Suroriental cubana. (Geographical location of Southeast cuban shelf).

La plataforma Suroriental cubana se encuentra al Sureste de la isla de Cuba y abarca los golfos de Ana María y de Guacanayabo. Las mayores profundidades de esta zona están entre los 20 y 22 metros, alcanzando en algunas localidades los 25 metros (Figuras 1 y 2). Los bancos coralinos (Jardines de la Reina cuya extensión supera los 150 kilómetros) se extienden al borde de la plataforma en esta zona (Ionin, 1977).

### MATERIALES Y METODOS

La herramienta operacional SIMulación de COrrientes (SIMCO), se basa en un modelo físico-matemático analítico, obtenido a partir de las ecuaciones generales que describen la dinámica del océano (Stewart, 2002) y consiste en un conjunto de funciones ejecutables sobre MATLAB 6.5 (Arriaza et al., 2002; Rodas et al., 2003; Arriaza et al., 2004; Arriaza et al. 2005 a; Hernández, Rodas, Arriaza, Simanca, Lorenzo, Cerdeira, Linares y Morales, 2006; Arriaza et al., 2006 b).

El SISCOM se creó adicionándole formulaciones y esquemas numéricos al POM para reproducir la influencia de la marea en la circulación de los cuerpos de la plataforma insular cubana. El (POM) es un modelo numérico, en coordenadas sigma y con superficie libre (Blumberg y Mellor, 1987). Las ecuaciones básicas del POM son las ecuaciones generales que describen la dinámica del océano (Stewart, 2002). Además, este modelo incluye, las ecuaciones que forman parte del submodelo de Cerradura Turbulenta (Mellor y Yamada, 1982; Arriaza y Milian, 2005 b).

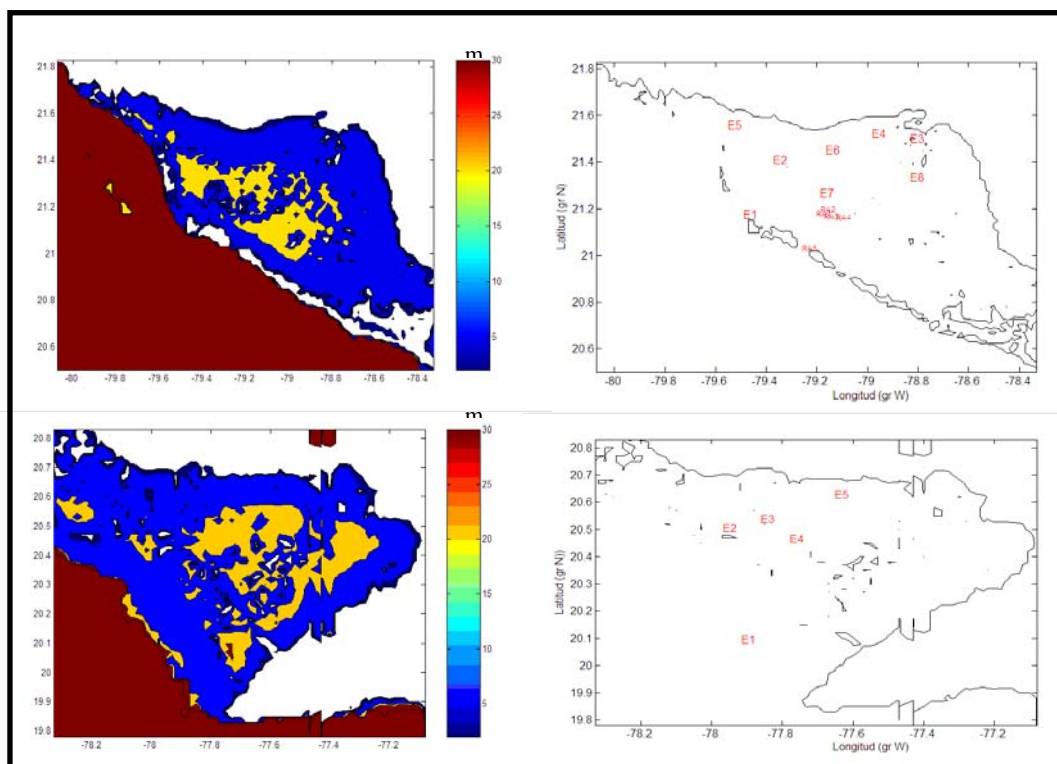


Figura 2. Batimetría en los golfos de Ana María y Guacanayabo y ubicación de las estaciones. (Bathimetric distribution and Location of currents stations).

Los datos de corrientes marinas, temperatura y salinidad, necesarios para alimentar y validar los modelos, se obtuvieron mediante el fondeo de correntómetros MTCM – 5 de la firma japonesa Tsurumi Seiki, RCM – 7 y SD – 6000 de la firma noruega AANDERAA (Figura 2). Estos datos se procesaron con la ayuda del sistema de procesamiento de series de tiempo de mediciones de corrientes marinas CORMAR, con el cual se obtuvieron los estadísticos básicos utilizados para validar los modelos (Pérez, Milanés, García, Morales, Vega y Betanzo, 1996 y Morales y Pérez Santos 1997).

La batimetría se tomó de la base de datos Sandwell Database (Smith y Sandwell, 1997) y de cartas náuticas escala 1:150 000 (Figura 2).

Expresión empleada para estimar los errores de los valores calculados y validar los resultados de la simulación:

$$E = |U_E(i) - \bar{U}_M|$$

Donde: E – error absoluto,  $U_M$  - magnitud media de la corriente según mediciones,  $U_E$  -magnitud de la corriente estimada con el modelo.

#### Diseño numérico.

Para la aplicación del SIMCO, en ambos golfos se construyó una rejilla numérica horizontal de 1.8 x 1.8 km. En el golfo de Ana María se calcularon las corrientes marinas en 105 x 81 nodos, a partir de una amplitud media de la marea de 40 cm y una condición de frontera abierta de 24 cm/s. Mientras que, en el golfo de Guacanayabo los cálculos se realizaron en 77 x 64 nodos a partir de una amplitud media de marea de 32 cm y una condición de frontera de 42 cm/s. La información de marea se tomó de Rodríguez y Rodríguez (1983) y los datos de corrientes a partir de mediciones directas. En toda la plataforma, el diseño de la máscara numérica considera tierra las profundidades menores de 1 metro, de ahí que algunos bajos hayan considerados como tierra en la simulación.

Como situación de régimen habitual de viento se tomó la velocidad promedio de 3 m/s de los vientos predominantes del primer y segundo cuadrantes (InsMET, 1987) y los cálculos se realizaron para una marea de tipo semidiurno (Rodríguez y Rodríguez, 1983).

En cuanto al SISCO, se ejecuta en el área comprendida entre los 19.50° y 23.50° Norte y los -85.50° y -73.50° Oeste, con el objetivo de estimar las corrientes marinas alrededor de Cuba.

Se emplea una resolución horizontal de 3.6 km, que implica una rejilla numérica de 362x130 nodos (Arriaza et al., 2006 c).

Los resultados de aplicar el SISCOM corresponden al ajuste entre los procesos termohalinos, meteorológicos y de fricción con el fondo, mientras que el SIMCO incluye sólo los dos últimos. Además, el SIMCO, estima el movimiento neto horario del agua. Por tanto, con los resultados de ambos modelos se logran cubrir todas las escalas de tiempo. También, la integración de los resultados de ambos modelos y de las dos resoluciones espaciales permite la mejor comprensión del comportamiento espacio-temporal de las corrientes marinas en la plataforma Suroccidental (Connolly et al., 1999).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### • Comparación entre corrientes marinas estimadas y medidas.

#### Comparación entre los resultados de la aplicación del SIMCO y las mediciones.

Se calcularon los errores absolutos medios de las corrientes marinas estimadas con respecto a las mediciones en los puntos de las rejillas numéricas del SIMCO coincidentes con las coordenadas de estaciones correntométricas. En el golfo de Ana María los valores del error absoluto medio de las corrientes marinas estimadas con el SIMCO oscilaron entre 0.98 y 2.63 cm/s, para un error medio de 1.60 cm/s. Mientras que, en el golfo de Guacanayabo se obtienen valores del error absoluto que fluctúan entre los 2.07 cm/s y los 6.18 cm/s, para una media de 4.14 cm/s (Tabla 1).

Tabla 1. Corrientes marinas medidas y estimadas (Measurement and estimated marine currents)

Estaciones & Estadísticas Velocidad.	ANA MARÍA							GUACANAYABO				
	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4	Est. 5	Est. 6	media	Est. 2	Est. 3	Est. 4	Est. 5	media
Vmed. Medida (cm/s)	42.13	6.71	5.36	5.10	23.39	3.49	14.36	8.39	6.26	5.48	15.30	8.85
Vmed. Estimada. (cm/s) (SIMCO)	44.76	7.69	6.53	6.32	24.60	5.89	15.96	10.46	9.40	11.66	20.45	12.99
Error absoluto. (cm/s) (SIMCO).	2.64	0.98	1.17	1.22	1.21	2.40	<b>1.60</b>	2.07	3.14	6.18	5.15	<b>4.14</b>
Error relativo % (SIMCO)	6	13	18	19	5	41	<b>10</b>	21	33	55	25	32
Vmed. Estimada. (cm/s) (SISCOM)	43.32	7.43	5.73	6.14	24.89	4.53	15.34	9.69	7.76	7.58	15.80	10.21
Error absoluto (cm/s). (SISCOM)	1.19	0.72	0.37	1.04	1.50	1.04	<b>0.98</b>	1.30	1.50	2.10	0.50	<b>1.36</b>
Error relativo % (SISCOM).	3	10	6	17	6	23	<b>6</b>	13	20	28	3	<b>13</b>

El análisis de los errores medios de estimación, muestra que el SIMCO es más efectivo en el golfo de Ana María, lo que está relacionado con que la configuración del golfo de Guacanayabo permite una mayor influencia de las corrientes oceánicas, por lo que el error máximo de 6.18 cm/s correspondiente a la estación E4 ubicada al Noroeste del golfo de Guacanayabo, área más abierta al Mar Caribe que la parte Suroeste (Tabla 1 y Figura 2).

Se puede considerar válido el SIMCO para estimar el comportamiento espacio-temporal de las corrientes marinas en el golfo de Ana María, ya que el error relativo medio es del 10% (Tabla 1). Sin embargo, con su aplicación en el golfo de Guacanayabo, se obtiene un error relativo del 32 %, que superan en un 2% el aceptado para estimar corrientes marinas (Mellor, Oey y Ezer, 1998). Esta situación se debe a que las suposiciones teóricas del SIMCO no son válidas en dicha zona y significa que en las plataformas de Cuba un  $R_0 = 50$  no es suficientemente grande para desprestigiar la componente transversal del vector corriente marina (Arriaza et al., 2006 a).

#### Comparación entre los resultados de la aplicación del SISCOM y las mediciones.

Se calcularon los errores absolutos y relativos medios de las estimaciones de las corrientes marinas con respecto a las mediciones en los puntos de la rejilla numérica del SISCOM

coincidentes con las coordenadas de las estaciones correntométricas (Tabla 1). En el golfo de Ana María, los valores del error absoluto de las estimaciones realizadas con el SISCOM oscilaron entre 0.37 y 1.19 cm/s, para una media total de 0.98 cm/s. En el golfo de Guacanayabo se obtienen valores del error absoluto que fluctúan entre 0.50 cm/s y 2.10 cm/s, para una media total de 1.36 cm/s. Los errores relativos 6 % y 13 % permiten considerar la exactitud de las corrientes marinas calculadas como adecuada para estimar la dinámica de la zona (Mellor et al., 1998). Estos valores, muestran que las corrientes marinas medias estimadas en la plataforma Suroriental son válidas.

La metodología es válida para estimar el comportamiento espacio-temporal de las corrientes marinas en el golfo de Ana María con un error relativo medio entre el 6 y 10 %. Mientras, que la estimación del patrón de circulación medio de la plataforma completa puede ser obtenida empleando los resultados de la aplicación del SISCOM en las aguas oceánicas que rodean la isla, y la misma es válida para esta plataforma con errores entre el 6 y el 13%. El SIMCO no lo es para estimar el comportamiento espacio-temporal de las corrientes marinas en golfo de Guacanayabo.

- **Resultado de la estimación de las corrientes marinas en la Plataforma Suroriental de Cuba.**

EL comportamiento en situación de régimen habitual de las corrientes marinas de la plataforma Suroriental cubana se analiza empleando los resultados de la aplicación del SISCOM. Su aplicación, también permitió estimar el intercambio entre ambos golfos y entre esta plataforma y el océano.

En el golfo de Ana María, se emplean ambos modelos para estimar las corrientes marinas horarias. EL análisis integrado de los resultados de la aplicación de los modelos en este cuerpo de agua, con una resolución horizontal diferente para cada sistema de cálculo, permite mejor comprensión del comportamiento espacio-temporal de las corrientes marinas.

Además, se realizó la simulación de las corrientes marinas horarias en el golfo de Ana María durante el paso del huracán de 1932 empleando el SIMCO.

Corrientes marinas estimadas en condiciones de régimen meteorológico habitual de la Plataforma Suroriental de Cuba.

Según Emillson y Tápanes (1971), la circulación general de las aguas en la plataforma Suroriental se caracteriza, en condiciones de régimen habitual, por un flujo de aguas al Oeste debido a los vientos predominantes del Este. Los resultados de la simulación indican el predominio de esta dirección en el movimiento neto en superficie (Figura 3). Sin embargo, en el movimiento de las aguas superficiales del golfo de Ana María se refleja una marcada influencia de la circulación oceánica periférica hacia el noroeste, y la formación de pequeños giros ciclónicos. Esto ocurre de igual manera hacia el sureste de la periferia del golfo de Guacanayabo (Figuras 3 y 4).

En los canales interiores del golfo de Ana María las intensidades de las corrientes en superficie alcanzan valores máximos de 13 cm/s, mientras que en el resto de la plataforma son menores. En su periferia las intensidades calculadas llegan a 42.3 cm/s debido a la influencia de las corrientes en la zona oceánica adyacente donde se presentan intensidades de 50 cm/s. (Figura 4).

La circulación general en el golfo de Guacanayabo, es menos compleja que en el interior del golfo de Ana María y los modelos reproducen un movimiento neto que responde al viento predominante, con valores máximos y medios de 10 y 3 cm/s, inferiores a los calculados para el interior de Ana María respectivamente (Figuras 4 A y B).

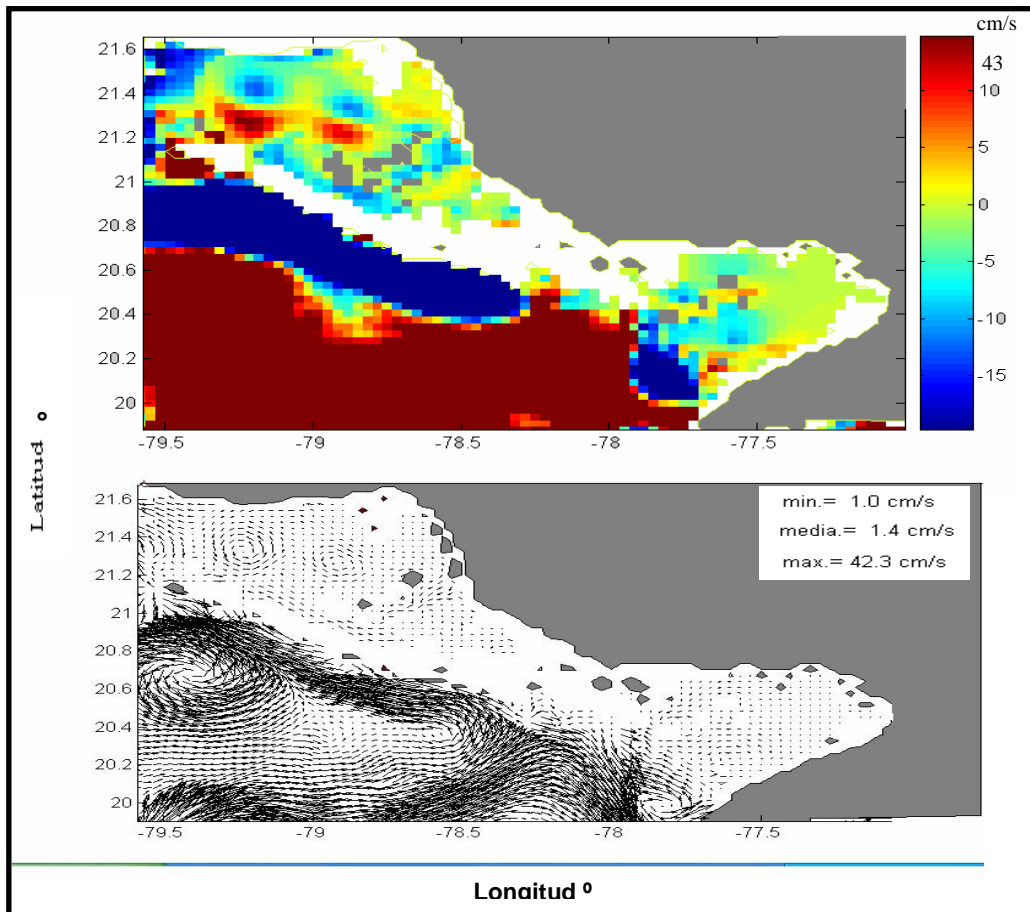


Figura 3. Intensidad y dirección de las corrientes marinas superficiales, en condiciones de régimen meteorológico habitual e hidrología correspondiente al promedio de mayo 1980 y 1981 en la plataforma Suroriental cubana. (Intensity and direction of surface marine currents, during habitual meteorological situation and hydrological conditions of May 1980 and 1981, in the southeast Cuban shelf).

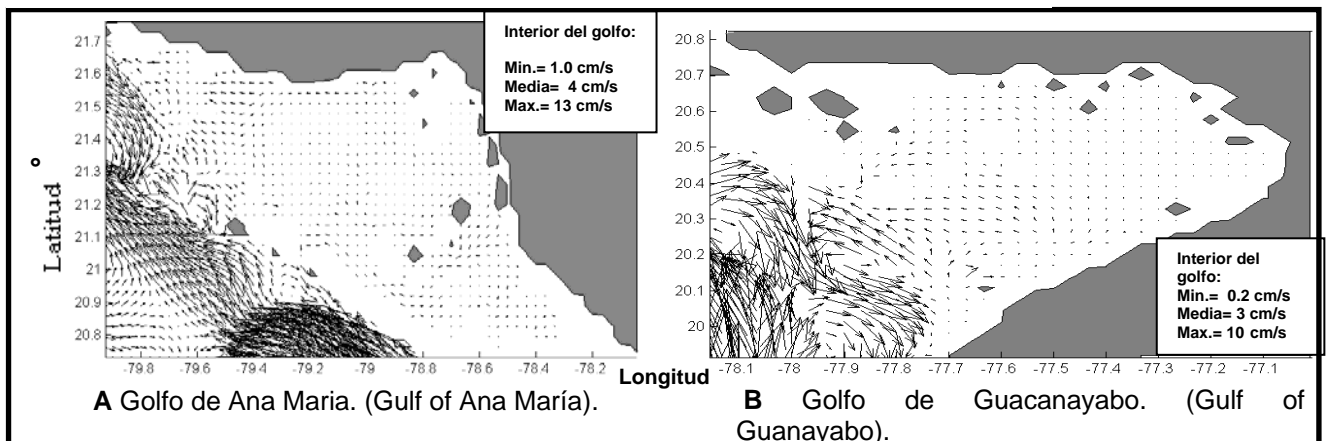


Figura 4. Circulación general. (General marine circulation.)

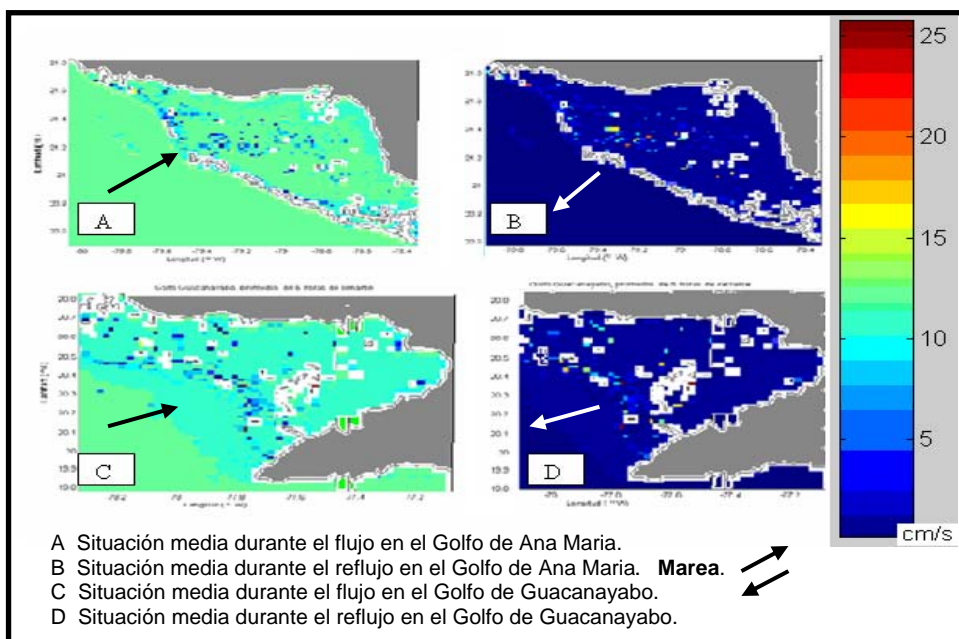


Figura 5. Intensidad media de las corrientes de marea en los golfos de Ana María y Guacanayabo (Mean intensity of tidal currents in Ana María and Guacanayabo gulfs).

En periodos de tiempo inferiores a la duración de cada fase de marea, el movimiento del agua en la plataforma suroriental, es forzado tanto por el viento y la circulación oceánica adyacente, como por la marea. Los valores de intensidad máxima, 26 cm/s durante el reflujo y 13 cm/s durante el flujo, se obtienen en la periferia del golfo de Guacanayabo, fundamentalmente hacia el noroeste en el límite con al golfo de Ana María. Estos máximos son 2 cm/s mayores, que los obtenidos en Ana María, lo cual se debe al libre intercambio con el Mar Caribe. Sin embargo, en el interior de Guacanayabo los valores medios de la intensidad de la corriente de marea son menores que en Ana María y su distribución resulta más uniforme, lo cual puede ser explicado por la ausencia de canales estrechos que incrementan la velocidad de la corriente y la influencia del disminución de la profundidad hacia la zona costera nororiental de Guacanayabo, en la cual la acción del viento prevalece sobre la circulación (Figura 5).

Los valores máximos de las corrientes de marea, en los pasos de la periferia de ambos golfos se deben fundamentalmente a la configuración del fondo y la costa. Sin embargo, los valores durante el reflujo son mayores que durante el flujo, ya que el movimiento del agua hacia el exterior de la plataforma es reforzado por la persistencia de vientos del primer y segundo cuadrantes. Durante el flujo la influencia de la circulación oceánica adyacente es menor que la influencia del viento y por ello se obtienen máximos inferiores a los del reflujo (Figura 5). En el interior de la plataforma, durante ambas fases de la marea, la velocidad media de la corriente no excede los 10 cm/s, lo cual indica que la simulación reproduce el marcado predominio del viento sobre esta área, en intervalos de tiempo iguales o mayores que la fase de marea.

En situación de régimen, las corrientes de marea estimadas mantienen una intensidad promedio de entre 9 y 13 cm/s y máximos entre 18 y 26 cm/s para las zonas mas profundidad en la frontera con el Mar Caribe y los pasos entre los cayos ubicados en el interior del golfo de Ana María y en la periferia de la plataforma entera (Figura 5).

Corrientes marinas estimadas en condiciones meteorológicas extremas sobre la plataforma Suroriental de Cuba.

Se alimentó el SIMCO con los datos de viento y marea registrados durante el paso del Ciclón del 1932 por el Sureste de Cuba para estimar el comportamiento de las corrientes marinas durante la ocurrencia de este evento. Este organismo ciclónico de gran intensidad se acercó a Cuba desde el Mar Caribe, penetrando en el archipiélago cubano el 9 de noviembre de 1932 (Moreno y Salas, 1976), con una trayectoria perpendicular a la costa Suroriental, a través del golfo de Ana María. En las figuras 8, 9 y 10 se muestra la evolución de la intensidad y la dirección de la corriente en el golfo de Ana María entre las 6:00 A.M. y las 10:40 A.M. de éste día.

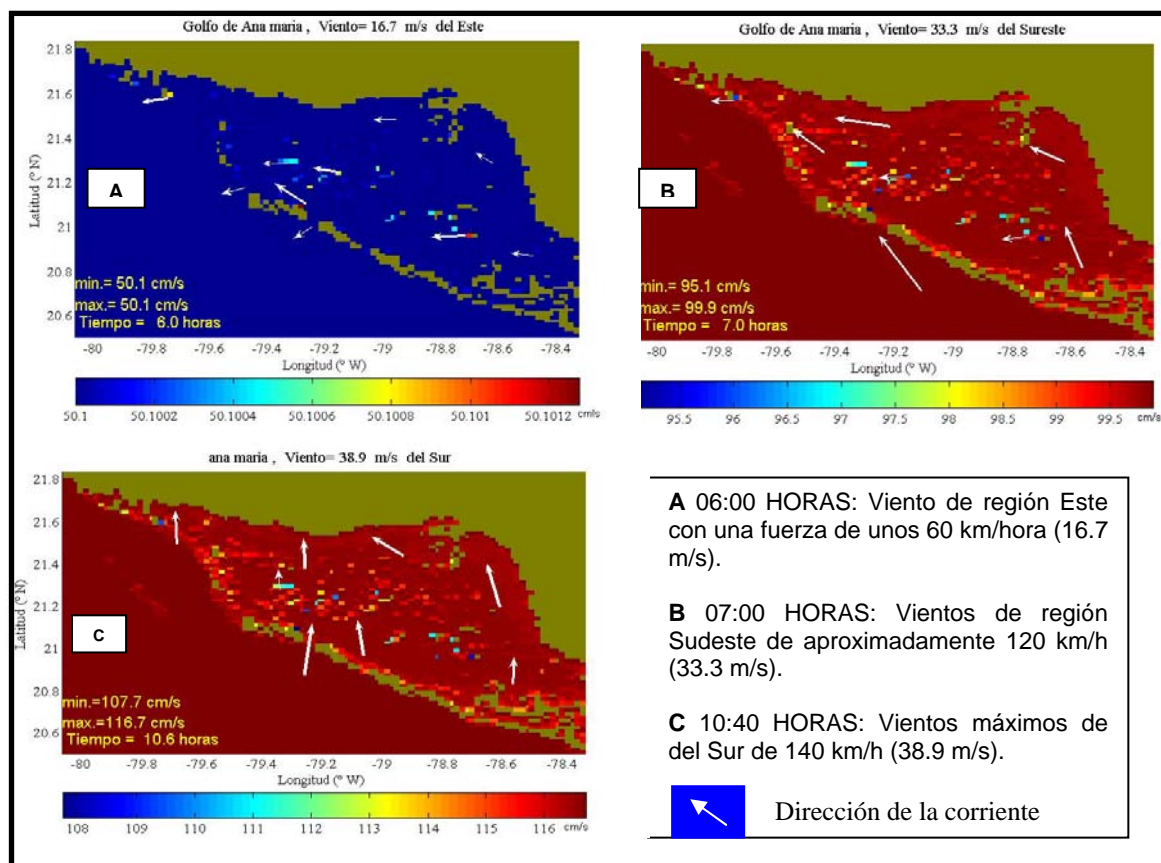


Figura 6. Magnitud (cm/s) y dirección de la corriente en el Golfo de Ana María durante el paso del Huracán del 1932. (Surface marine currents intensity during Hurrican of 1932)

En situaciones extremas, como era de esperarse tanto la velocidad como la dirección de las corrientes marinas están determinadas por la intensidad y la dirección del viento. La simulación muestra que, el viento es el factor absoluto que determina la dirección del movimiento de las aguas. Sin embargo la intensidad del movimiento presenta la influencia de la marea, fundamentalmente hasta las 6:00 horas donde el flujo contrarresta el efecto del viento para la zona periférica y de mayor profundidad de la plataforma (Figura 6). Esta intensidad se incrementa a medida que aumenta la velocidad del viento desde los 50 cm/s y llegando a los 116.7 cm/s durante el momento de mayor intensidad de los vientos para todo el área. Aun teniendo en cuenta que este valor está sobrestimado en un 10% (11.67 cm/s), los valores obtenidos muestran que en estas condiciones meteorológicas las corrientes marinas se intensifican notablemente (105.03 cm/s). En el golfo de Ana María, la influencia de su configuración y la intensidad y dirección de los vientos provocaron en las corrientes marinas un patrón de dirección sostenido hacia el Oeste y una intensidad superior a los 100 cm/s sostenida por mas de una hora (Figura 6), que incidió en las fuertes y persistentes inundaciones costeras reportadas durante el paso del ciclón del 32.

### CONCLUSIONES

1. La aplicación del SISCOM permite estimar el patrón general de circulación marina en la plataforma Suroriental, y su intercambio con el océano. Los resultados son válidos con errores medios del 6 y el 13 %, para los golfos de Ana María y Guacanayabo, respectivamente.
2. Los errores de estimación con el SIMCO son mayores en el gofo de Ana María que en el de Guacanayabo (errores absolutos medios de 1.74 y 4.71 cm/s, respectivamente). Las corrientes marinas horarias estimadas en el golfo de Ana María son válidas con un 10 % de error.
3. Aunque en el movimiento de las aguas superficiales de la plataforma suroriental predomina la dirección Este-Oeste, se presentan particularidades como giros ciclónicos hacia el centro y Noroeste del golfo de Ana María y el Sureste de Guacanayabo. Las velocidades máximas se alcanzan en la frontera con el Mar Caribe (42.3 cm/s).



4. El patrón general de circulación de las aguas del golfo de Ana María presenta dirección del E al WNW, con velocidades medias y máximas de 4 y 13 cm/s respectivamente. Durante ambas fases de marea las corrientes se incrementan en la periferia y entre los pasos de los cayos, alcanzando las mayores intensidades durante el reflujo (promedios  $18 \pm 1.74$  y  $26 \pm 1.74$  cm/s durante el flujo y el reflujo respectivamente).
5. El patrón general de circulación, del E al W, de las aguas del golfo de Guacanayabo, presenta fluctuaciones hacia el WNW producidas por la influencia de la circulación oceánica adyacente. Las velocidades medias y máximas son de 3 y 10 cm/s, respectivamente. Durante ambas fases de marea las corrientes se incrementan en la periferia alcanzando máximos 2 cm/s mayores que en Ana María y con las mayores velocidades durante el reflujo. Sin embargo los valores medios para cada fase de marea son iguales.
6. En el golfo de Ana María, durante el paso del ciclón del 1932, la influencia de su configuración y la intensidad y dirección de los vientos provocaron en las corrientes marinas un patrón de dirección sostenido hacia el Noroeste y una intensidad superior a los 100 cm/s sostenida por más de una hora, que incidió en las fuertes y persistentes inundaciones costeras reportadas.

#### REFERENCIAS.

1. Annan, J. D. 2001. Hindcasting Coastal Sea Levels in Morecambe Bay Estuarine, Coastal and Shelf Science, Disponible en <http://www.idealibrary.com> on, 53 pp 459–466.
2. Arriaza, L., L. Rodas y M. Hernández 2002. Corriente superficial inducida por el viento y las mareas en la bahía de Santiago de Cuba. Contribución a la educación y la protección ambiental. VIII Taller, ISBN 959-7136-11-39.
3. Arriaza, L., M. Hernández, L. Rodas y J. Simanca 2004. Simulación de la circulación inducida por el viento y las mareas en el golfo de Batabanó. Revista de Investigaciones Pesqueras. No.1. Ed. E. 2004.
4. Arriaza, L., M. Hernández, L. Rodas y J. Simanca 2005 a. Simulación de la circulación en el golfo de Batabanó II. Contribución a la educación y la protección ambiental XI Taller, ISBN 959-7136-11-39.
5. Arriaza, L., D. E. Milian Lorenzo 2005 b. 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 XI Taller, ISBN 959-7136-11-39.
6. Arriaza, L., D. E. Milian, L. Rodas, J. Simanca 2006 a. A basis for Environmental Monitoring in the Gulf of Batabanó applying hydrodynamic simulations, Contribution to the Education and Environmental Protection, Vol. 7, ISBN 979-7136-43-0.
7. Arriaza, L., D. E. Milian Lorenzo, L. Rodas, J. Simanca y P.L.Romero. 2006 b. 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.
8. Arriaza L., L. Rodas, J. Simanca, O. Ramirez y R. Garcia 2006 c. Cartas de corrientes superficiales obtenidas de la modelación numérica. Informe parcial del proyecto: Los procesos oceanográficos en las aguas oceánicas adyacentes a Cuba y su relación con larvas de especies marinas de interés comercial. pp 69-83.
9. Blumberg, A. F. y G. L. Mellor. 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in Three –Dimensional-Coastal-Ocean-Model, Vol. 4, N. Heaps, PP. 208-230, American Geophysical Union, Washington, D.C.
10. Blumberg, A. F., N.B. Kim 2000. Flow Balances in St. Andrew Bay revealed through Hydrodynamic simulations. Estuaries Vol. 23 No. 1. PP. 21-33.
11. Blumberg, A. F., S. O'Neil y N.B. Kim 2003. Environmental Impact of a desalination facility proposed for Tampa, Florida. Journal of Marine Env. Eng. Vol. 7. PP. 25-45.
12. Cai, S. 2001. Application of Renormalization Group Model to the Numerical Simulation of Tidal Current in the Qiongzhou Channel. Estuarine, Coastal and Shelf Science 53, PP 141–150. <http://www.idealibrary.com> on.
13. Connolly, J.P, A.F. Blumberg y J. Quafrini 1999. Modelling Fate of Pathogenic Organisms in Coastal waters of Oahu, Hawai. Journal of Environmental Engineering/may 1999/pp. PP.398-406.
14. Emilsson Y. y J.J. Tápanes 1971. Contribución a la hidrología de la plataforma Sur de Cuba. Serie Oceanológica. 9, PP. 1-22.

15. Ezer, Tal y G. L. Mellor, 1994. Diagnostic and prognostic calculation of the North Atlantic circulation and sea level using a sigma coordinate ocean model. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 99 NO C7, PP 14,159-14,171.
16. Hernández M., L. Rodas, L. Arriaza, J. Simanca, S. L. Lorenzo, S. Cerdeira, E.O.Linares, A. Morales 2006. Características y pronóstico de la circulación de las aguas de la plataforma Suroriental y de su influencia sobre la distribución espacio – temporal de la temperatura y la salinidad mediante la modelación numérica. Informe parcial anual 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 págs.
17. Instituto de Meteorología 1987. *Atlas Climático de Cuba*.
18. Ionin, A.S., Y. A. Pavlidis, y O. Avello 1977. *Geología de la plataforma cubana*. [en ruso]. Edit. Nauka. Moscú. 215 pags.
19. Lee, H-C y G. L. Mellor, 2003. Numerical simulation of the Gulf Stream, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No. C2, 3043, doi: 10.1029/2001JC001074, PP. 25-41.
20. Mellor, G. L. y Yamada, T. 1982. Development of a Turbulence Closure Model for Geophysical Fluid Problems. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, Vol. 20, No. 4, PP. 851-875.
21. Mellor G.L., L-Y, Oey y T. Ezer. 1998. Sigma Coordinate Pressure Gradient Errors and the Seamaount Problem. *Journal of Atmospheric and Oceanic Tecnology* Vol. 15 No 5. PP. 1122-1131.
22. Morales A 1996. Estudios Oceanográficos para la construcción de una plataforma para la prospección de petróleo en Cayo Rabihorcado. Informe Científico Técnico. GEOCUBA Estudios Marinos. 100 pags.
23. Morales A; I. Pérez Santos 1997. Estudios oceanográficos en el NW del golfo de Guacanayabo para evaluar sus posibilidades para ser utilizada en el desarrollo del maricultivo. *Archivo. GEOCUBA Estudios Marinos*. 80 pags.
24. Oey L-Y y H-C Lee 2003. Effects of winds and Caribbean Eddies on the frequency of loop eddy shaddings: A numerical model study. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No. C10, 3324, doi:10.1029/2002JC001698, PP. 22,1-1,25.
25. Pérez I., Milanés J., Zamora A., García L., Morales A., Vega F. y Betanzo A. 1996. Características generales de las corrientes en los golfos de Ana María y Guacanayabo. Informe Científico-Técnico. Geocuba Estudios Marinos. 45 pags.
26. Smith W. H. F., y D. T. Sandwell. 1997. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, *Science*, v. 277, PP. 1957-1962.
27. Stewart R. H. 2002. *Introduction To Physical Oceanography*. Department of Oceanography, Texas A & M University, Copyright 2002, Spring 2002 Edition.
28. Rodas L, L. Arriaza, M. Hernández 2003. *Deriva de hidrocarburos en la Bahía de Santiago de Cuba*. Ingeniería Civil, ISSN 0213-8468, Centro de estudios y experimentación de obras publicas, España.