

## Potencial energético de las corrientes marinas en aguas cubanas

### Energy potential of marine streams in cuban waters

Ida Mitrani-Arenal <sup>1\*</sup>, Javier Cabrales-Infante <sup>1</sup>



<http://opn.to/a/x3S1m>

<sup>1</sup>Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

**RESUMEN:** Se presenta un análisis del comportamiento espacio-temporal de las corrientes marinas en aguas aledañas a Cuba, con inclusión de los cálculos de su potencial energético. El área de estudio es el territorio comprendido entre los 18 y 25° N y los 72 y 88° W. Como fuentes de datos se utilizaron la batimetría del Atlas GEBCO, las tablas anuales de mareas (1975-2016), los datos de estructura termohalina (1966-2000), la afectación por eventos severos de los archivos INSMET y NHC, así como la combinación de los modelos HYCOM para la simulación numérica de la circulación oceánica. Se calculó el potencial energético en aguas profundas, en canales de entrada de bahías y entre algunos cayos. En aguas someras, la bahía de Nipe es la que muestra el mayor potencial de los casos analizados. En aguas profundas, la velocidad de las corrientes oceánicas se mantiene con valores bajos durante todo el año y solamente en áreas de la corriente de lazo, a varias decenas de kilómetros de la costa noroccidental cubana, se observan velocidades mayores de 1 m/s. En aguas abiertas, el potencial energético aprovechable, en algunos meses puede ser del orden de hasta 2 kWatt/m<sup>2</sup>, mientras que en zona costera solo la Bahía de Nipe muestra un potencial considerable, del orden de 0.0076-0.49 kWatt/m<sup>2</sup> durante el año.

**Palabras clave:** corrientes marinas, energía renovable, mitigación.

**ABSTRACT:** An analysis of the time-space behavior of marine streams and their energy potential in Cuban waters is presented. The study area is located between 18 - 25° N and 72 - 88° W. As data sources, the GEBCO Atlas bathymetry, the tide tables (1975-2016 period), the thermohaline structure data (1966-2000 period), the archive information about severe events and the HYCOM model for the numerical simulation of ocean circulation, were used. It is appreciated that the ocean stream speed is maintained around low values throughout the year and only in areas of the loop current, in tens of kilometers from the coastline, velocities greater than 1 m/s are observed. The available energy potential reaches up to 2 kWatt/m<sup>2</sup> only in a few months, while in the coastal zone, it is the Nipe Bay that shows the greatest potential, of 0.0076-0.49 kWatt/m<sup>2</sup> throughout the year.

**Key words:** Ocean energy, energy potential, marine streams.

### INTRODUCCIÓN

Se presenta como necesidad para el desarrollo económico, la valoración del uso de fuentes de energía renovable, que garanticen la producción de

electricidad de forma continua y sin dañar el medio ambiente. Una de estas fuentes puede ser las corrientes marinas, dadas las condiciones de insularidad del territorio cubano.

\*Autor para correspondencia: *Ida Mitrani Arenal*. E-mail: [ida.mitrani@insmet.cu](mailto:ida.mitrani@insmet.cu)

Recibido: 04/07/2019

Aceptado: 18/03/2020

En la obtención de energía a partir de las corrientes en océano abierto, influyen todos los factores que intervienen en la generación, velocidad y trayectoria de la circulación oceánica, principalmente las fuerzas de gravedad, de gradiente bórico, del efecto de Coriolis, de la tensión del viento, las fuerzas generadoras de marea, la fricción interna y de fondo, el relieve submarino y la sinuosidad de la línea costera ([Fernández Díez 2008](#); [Mitrani 2017](#)), por lo que es necesario el estudio de sus características generales, previo a la selección de los puntos donde se pretende hacer las instalaciones de explotación. Teniendo en cuenta que la densidad del agua es 850 veces superior a la del aire, aunque la velocidad del fluido es más pequeña que en el caso del aire, la potencia por unidad de área barrida es mucho mayor respecto a la que se obtendría con una aeroturbina, de manera que en el presente:

- Con vientos de 15 m/s se obtienen 2 kW/m<sup>2</sup>
- Con corrientes marinas de 2 m/s se obtienen 4 kW/m<sup>2</sup>

Las técnicas de extracción son similares a las que se utilizan con las turbinas eólicas, empleando en este caso instalaciones submarinas. La energía extraíble es función del diámetro del rotor de la turbina y de la velocidad de las corrientes, de las cuales el valor más apropiado se estima entre 2 y 3 m/s.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Información disponible

- A. Batimetría y configuración de la línea costera a partir del Atlas [GEBCO \(2009\)](#), con resolución de 900 m, entre los 18 y 25° N y los 72 y 88° W ([Figura 1](#))
- B. Tablas Anuales de Mareas de la República de Cuba, desde 1974 hasta 2017, conservadas en los archivos del INSMET.
- C. Re-análisis, conformados como entrada del modelo HYCOM, durante un año y cada seis horas, disponibles en su sitio web ([HYCOM](#)

[2015](#)), con resolución de 1/12 de grado de latitud (entre 11 y 12 km).

- D. Información acerca de eventos meteorológicos de gran severidad, disponible en los archivos del Instituto de Meteorología y del National Hurricane Center ([NHC, 2017](#)). Después de consultar las cronologías de eventos severos del INSMET y de NHC, se consideró que el 2010 es un año adecuado, debido al predominio de condiciones de buen tiempo, puesto que solo dos huracanes y dos frentes fríos afectaron las costas cubanas y con inundaciones ligeras.
- E. Descripción geográfica y del clima locales, y valores extremos de las mareas, tomados del Derrotero de las Costas de Cuba ([ICH, 1989](#)), Lecha et. al. (1994) y [Hernández y Díaz \(2003\)](#)
- F. Valoración del comportamiento de la densidad superficial en aguas cubanas, determinado por [Mitrani et al. \(2008\)](#). Se decidió utilizar el valor  $\sigma=23.0$ , de donde la densidad real del agua sería  $\rho_w=1,023 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

### Formulaciones físico-matemáticas para caracterizar la energía de las corrientes

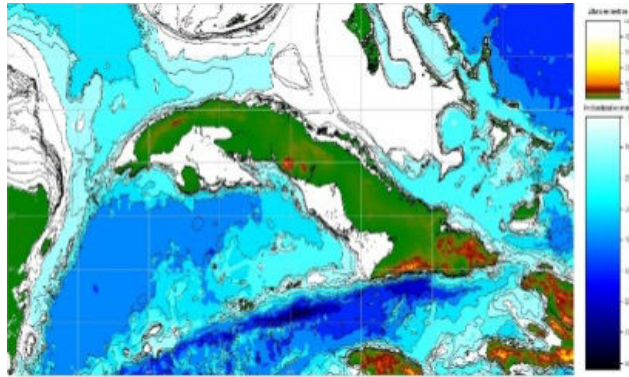
Las velocidades de las corrientes en mar abierto, fueron tomadas de los re-análisis HYCOM y representadas en mapas, de forma gráfica, con el editor GrADS Versión 2.0.a5.oga.5, libremente disponible.

Para calcular el recurso de energía disponible y la velocidad de las corrientes de marea, se utilizaron los métodos descritos por Garret (2005), [Atwater y Lawrence \(2008\)](#), [Lalander \(2010\)](#) y [O'Rourke et al. \(2010\)](#). Se utilizó la siguiente expresión para la velocidad por unidad de volumen:

$$v_{(H)} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Donde:

- v - velocidad del flujo de agua a través de la turbina (m/s)
- H - altura de la marea
- g - aceleración de gravedad



**Figura 1.** Batimetría de las aguas cubanas ([GEBSCO 2009](#))

Para el potencial de la energía cinética producida por un fluido en movimiento, cuando es convertida a mecánica rotacional a través de una turbina, se aplica la ecuación:

$$P_c = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Donde:

- $P_c$  - potencia de la corriente marina (Watt)
- $A$  - área transversal ocupada por el flujo ( $m^2$ ).
- $\rho$  - densidad del agua de mar ( $kg/m^3$ )

Para utilizar con comodidad los resultados obtenidos, el potencial energético ideal se calculó para  $A= 1m^2$ , de modo que cualquiera sea la técnica que se pretenda aplicar, solo hay que multiplicar este valor elemental por el área verdadera de la sección transversal de la turbina que se pretende utilizar.

Se presenta como limitación que no es posible convertir en electricidad toda la alimentación de energía de la corriente, debido a las pérdidas por fricción y a la acción de la ley de Betz en las turbinas ([DWIA 2003](#)), que indica que la energía aprovechable es menor que los 2/3 de la energía disponible. Estas limitaciones se contabilizan mediante el coeficiente de poder de potencia de la turbina. Otras limitaciones, derivadas de la fricción, la turbulencia extra y otras propiedades, generadas por los propios dispositivos, se rectifican mediante otros coeficientes. La potencia para un sistema ya integrado turbina-generator viene dada por las ecuaciones siguientes:

$$P_{T-ideal} = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3$$

$$P_{e(v,A)} = \frac{1}{2} C_p \eta_G \eta_M \eta_T \rho A_T v^3$$

Donde:

- $P_{T-ideal}$  - potencia ideal de la turbina (W)
- $P_e$  - potencia eléctrica de salida (W)
- $C_p$  - coeficiente de potencia =  $16/27=0.593$  para una turbina ideal (Ley de Betz)
- $g$  - aceleración de gravedad ( $m/s^2$ )
- $A_T$  - área efectiva del paso de turbina ( $m^2$ )
- $\eta_T$  - eficiencia de conversión de la turbina
- $\eta_M$  - eficiencia de conversión del acople mecánico turbina-generator
- $\eta_G$  - eficiencia de conversión del generador

Para el análisis del potencial de las mareas, se consultaron varias fuentes bibliográficas, como son: el Derrotero de las Costas de Cuba ([ICH, 1989](#)), el informe de [Vega et al. \(2008\)](#), las tablas de marea desde 1974 hasta 2017 y la descripción de las mareas que aparece en [Mitrani et al. \(2008\)](#), proveniente de diversos textos escritos por especialistas de la Empresa GEOCUBA, antes Instituto Cubano de Hidrografía ([ICH, 1989](#)) y del Instituto de Oceanología ([Hernández y Díaz, 2010](#)).

En el caso de los convertidores de energía de marea, se pueden tener diferentes modos de funcionamiento y, por tanto, la potencia de salida varía según el caso. Aunque la potencia aprovechable no puede exceder la impuesta por el límite de Betz en el coeficiente de potencia, esto se puede mitigar en cierta medida mediante la colocación de una turbina en una mortaja o conducto ([Lalander, 2010](#)). Esto funciona, en esencia, forzando a que el agua que no habría

fluido a través de la turbina, pase a través del disco rotor. En estas situaciones, en lugar de la turbina es el área frontal del conducto, la que se utiliza en el cálculo del coeficiente de potencia.

La energía disponible a partir de estos sistemas cinéticos se puede expresar como:

$$P = 0.22(\Delta H_{\max} Q_{\max})$$

Donde:

$\Delta H_{\max}$  - Máxima diferencia entre los valores del nivel del mar (m)

$Q_{\max} = vA_T$  - Máximo gasto ( $m^3/s$ )

La velocidad de la corriente de marea en el canal de entrada de una bahía, que sería la máxima posible si se excluye la fricción de fondo, se calculó por la fórmula recomendada por [SPM \(1984\)](#) y [CEM \(2006\)](#). En la velocidad de la corriente de marea influyen el área de la cuenca, las dimensiones del canal de acceso, el valor de la marea, las diferencias de horario en lugares relativamente cercanos y los factores astronómicos. En una cuenca de área (A), con un canal de acceso de sección transversal (S) y con un valor de marea de (2R), la velocidad de la corriente en la mitad de su período (t), o sea, en el momento ( $T = t/2$ ).

$$\bar{V}_{\max} = \frac{4\pi AR}{3St} \approx \frac{4AR}{St}$$

En las áreas laterales de los canales, si no se cuenta con mediciones, estos mismos textos recomiendan:

$$V = \frac{8}{9} \frac{\pi AR}{3St} \approx 0.93 V_{\max}$$

Las turbinas suelen sumergirse varias decenas de metros, de manera que el oleaje y los eventos meteorológicos severos no los afecten mucho y además, no se estropee el paisaje local. [Lalander \(2010\)](#) expresa que se debe determinar la velocidad de la corriente de marea en la profundidad, por la siguiente ley exponencial:

$$V_z = V_0 \left( \frac{Z}{H} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

Donde:

$V_0$  - es la velocidad en superficie

$Z$  - es la coordenada vertical

$H$  - es la profundidad total

$\alpha$  es el coeficiente numérico que oscila entre 6 y 10, en dependencia de la fricción de fondo. En el presente texto se utiliza igual a 6.

## Limitaciones

1. La resolución de los datos de batimetría y línea costera es muy gruesa (de 900 m), por lo que será necesario interpolar estos datos.
2. No se cuenta con datos reales de alta resolución, acerca de las velocidades de las corrientes marinas. Con los re-análisis, se logran aproximaciones confiables para pasos de malla de 11-12 km, puesto que se incluyen datos in situ, registrados principalmente por boyas y satélites ([HYCOM 2017](#)).

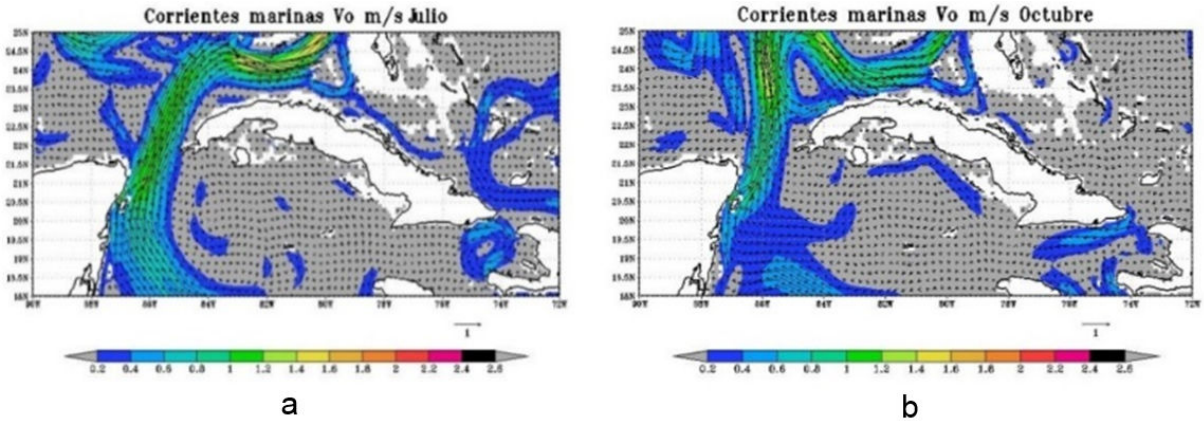
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se aprecia que la velocidad de las corrientes oceánicas se mantiene con valores bajos durante todo el año y solamente en la región nor-occidental al oeste del meridiano  $80^\circ$  W, se observan en algunos meses velocidades mayores de 0.4 m/s. En el Paso de los Vientos, que es otra región donde las corrientes pudieran ser de alguna intensidad, se observó que solo de septiembre a octubre las velocidades sobrepasan los 0.4 m/s, con un posible potencial energético ideal de 19.41 Watt para una turbina de área  $A=1$   $m^2$ . En la [Figura 2a,b](#), se observa la circulación de los meses de velocidad máxima, que son julio y octubre.

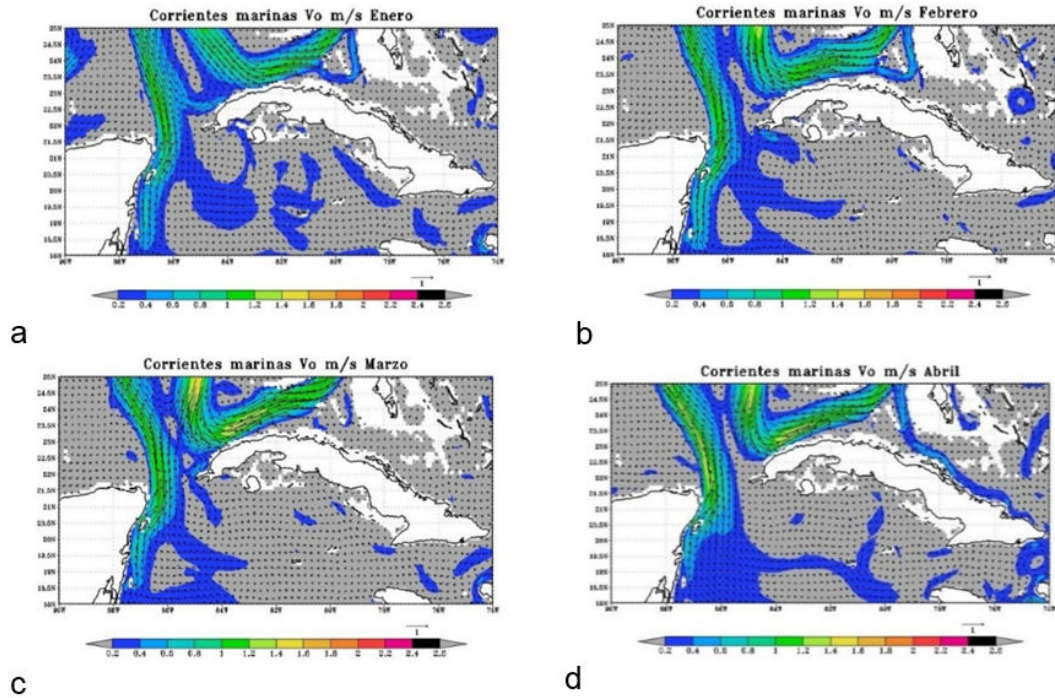
Otro aspecto de interés es la evolución del vórtice anticiclónico en el extremo occidental de las costas pinareñas, que en esta área ocasiona una gran variabilidad en el curso anual de la dirección de la corriente, de modo que en enero se observan del oeste, después se debilitan y se orientan desde norte, posteriormente son del nordeste y ya de mayo a julio, se orientan con el flujo general del sudeste. Posteriormente, el vórtice anticiclónico se restablece en las cercanías de la costa pinareña y se conserva el resto del año, de manera que las corrientes en esta región, predominan desde el nordeste hasta diciembre.

En la región entre Pinar del Río y Artemisa, también hay cambios de dirección ([Figura 3a-d](#)), de modo que durante los meses invernales en la zona pinareña predomina las corrientes del noroeste y en la artemiseña desde el sudeste, pero al comienzo del verano se intensifica el flujo del sudeste para





**Figura 2.** Distribución de las corrientes marinas en (a) Julio y (b) Octubre, con inclusión del Paso de los Vientos



**Figura 3.** Velocidad promedio mensual de las corrientes marinas en el período enero-abril

toda el área, aunque a partir de agosto hay un desplazamiento hacia las costas de Artemisa-La Habana del flujo general del noroeste, mientras que entre las costas de las provincias Habana-Mayabeque-Matanzas (hasta la Península de Hicacos), la corriente se orienta del sudeste hacia el nordeste. Entre Cabo San Antonio y Península de Hicacos de julio a octubre se observan corrientes más intensas con respecto al resto de las costas de Cuba, como promedio no suben de 0,6 m/s. Las corrientes de los estrechos de Yucatán y de La

Florida caracterizan a la circulación de las aguas la región nor-occidental de Cuba. Durante todo el año el eje de la corriente de Yucatán se acerca a las tierras mexicanas, mientras que el eje de la corriente de la Florida, se acerca al territorio norteamericano, de manera que solo en las cercanías de la costa noroccidental, principalmente al norte de Pinar del Río y Artemisa, se observa algún valor de interés, de hasta 1,4 m/s fundamentalmente en el período poco lluvioso y a una distancia mayor de 40 km de la línea costera,

cuando la componente eólica se fortalece con alguna frecuencia al aumentar la velocidad del viento durante el paso de los frentes fríos, específicamente en los meses de enero a abril. Ya en el mes de mayo, la corriente se debilita y su eje se aleja de la costa de Artemisa, de modo que los valores poco mayores de 1m/s solo permanecen a decenas de kilómetros al norte del extremo de Pinar del Río.

Del análisis de la de la componente termohalina, calculada por especialistas de GEOCUBA con paso de malla de 3 km y que aparece en [Mitrani et al. \(2008\)](#), se aprecia que en las cercanías de las costas nor-occidentales se fortalece la componente termohalina desde el Caribe hacia el Golfo de México, a través del Canal de Yucatán, por el contraste entre el enfriamiento de las aguas superficiales de la región noroccidental y la permanencia de aguas relativamente cálidas hacia el sur. En el período poco lluvioso se debilita, al desplazarse las aguas cálidas desde la región nororiental por encima de las relativamente frías del Golfo de México.

Se muestran valores de velocidad de la llamada “contracorriente cubana”, que en las cercanías de las costas cubanas (norte de la provincia de Artemisa, Pinar del Río y Cabo San Antonio) puede llegar al entorno de 1 m/s de velocidad. Este resultado se encuentra en correspondencia con las mediciones “in situ”, analizadas por [Simanca et al. \(2012\)](#) a 32 km del Cabo San Antonio, en un anclaje perpendicular a esta zona costera, en el período de octubre a mayo del año 2000, principalmente en los meses del período poco lluvioso. Estos fenómenos no son lo suficientemente fuertes como para sostener un fortalecimiento en la circulación habitual de las aguas en alguna etapa del año, de manera que los cambios en la circulación termohalina de un mes a otro en condiciones no perturbadas no son importantes.

En las [Figura 4a-d](#) aparecen los cálculos del potencial energético mensual de las corrientes marinas en el entorno cubano, con sección transversal de 1 m<sup>2</sup>.

Se aprecia que el máximo potencial en una sección transversal de 1m<sup>2</sup>, es del orden de hasta 1.2 kW en algunos meses del año en el eje del Canal de Yucatán, a más de 200 km de tierra cubana. Se observa ocasionalmente un segundo máximo de 1,2 kW a más de 50 km de las costas de Artemisa. Estas distancias hacen inoperante la instalación de una turbina, debido a la longitud y resistencia de los cables que habría que instalar para explotar esa energía, pero además, el diámetro que habría que usar para producir una cantidad razonable de energía sería colosal.

En la literatura consultada, se describen turbinas desde 1.5 de diámetro, usado de forma experimental en el río Támesis del Reino Unido ([Lalander 2010](#)) hasta 168 m, instalación que se pretendía desarrollar en las cercanías de los Cayos de la Florida ([FONDEAR 2008](#)). En la [Tabla 1](#) se asentaron algunos cálculos para estos dos valores extremos de diámetros (D) de turbinas.

Para obtener al menos 1 MW, haría falta una turbina de más de 168m de diámetro, es decir, más grande que la propuesta por científicos de los Estados Unidos para el área de los Cayos de la Florida, donde la corriente es algo más fuerte.

En el caso de **las corrientes de marea**, según la bibliografía consultada ([ICH 1989](#), [Vega et al. 2008](#)) y el análisis de las salidas del modelo HYCOM, realizado en el presente trabajo, estas corrientes son predominantes en áreas de amplia plataforma y cayerías, donde se comportan como sigue:

- a. **En el Golfo de Batabanó**, los valores de marea son como promedio, menores de 30 cm ([ICH, 1989](#)). Las corrientes predominantes se orientan de este a oeste y su velocidad rara vez sobrepasa los 0.3 m/s, manteniéndose como promedio en el intervalo 0 - 0.17 m/s. El potencial no llega a 1 KW, ni siquiera en el área de máxima velocidad de la corriente.
- b. **En el tramo Cabo Cruz-Punta María Aguilar**, que comprende a los Golfos de Ana María y Gucanayabo, las corrientes están sometidas fundamentalmente al ritmo de las mareas, cuyos valores promedio están en el entorno de 0.3-0.7

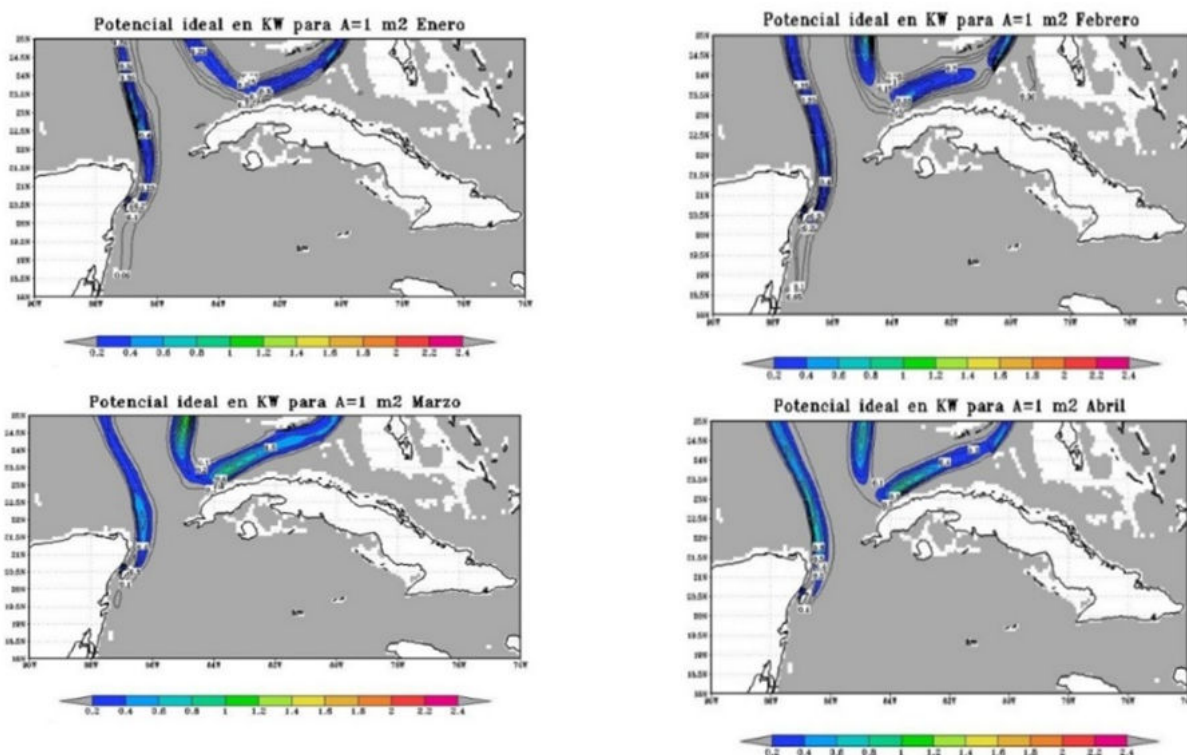


Figura 4. a-d Potencial energético ideal en kW, promediado para los meses de enero a abril.

Tabla 1. Ejemplos de potenciales energéticos en dos diámetros de turbinas

D [m]	A = $\pi D^2$ [m <sup>2</sup> ]	Pc [MW]	
		Corriente de lazo desde el Canal de Yucatán	Corriente de lazo hacia el Canal de La Florida
1,5	4,71	0,005652	0,006594
168	527,52	0,633024	0,738528

m/s (ICH, 1989). En el mes de junio, al combinarse las mareas con los vientos Alisios, fortalecidos en esta época del año, aparecen las máximas velocidades de las corrientes, de poco más de 0.6 m/s y potencial de 0.2 KW como máximo.

c. **Del Archipiélago de Los Colorados**, acerca de las mareas y corrientes aparece muy poca información de menor escala. A la escala de HYCOM, solo se puede apreciar la corriente de lazo, que en las cercanías de esta área, muestra su máximo de velocidad en los meses de marzo y abril, en el entorno de  $1.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , con potencial energético ideal para  $A=1\text{m}^2$  de hasta 16 KW. Según la bibliografía consultada, las mareas se

registran en el intervalo 0.3-0.7 (ICH, 1989), pero la combinación con las corrientes exteriores, en algunos canales o pasas entre los cayos, pudiera ocasionar un incremento importante de las corrientes marinas (Figura 5a-d).

d. **En el Archipiélago Sabana-Camagüey**, se incluyen las áreas con registros de valor de marea de entre 0.7 a 1 m y ocasionalmente mayor de 1m, entre Isabela de Sagua y Nuevitas. Estos son los registros máximos en Cuba, además del tramo Nuevitas-Maisí. Esta particularidad hace que la corriente se acelere en canales y pasas, aunque en el entorno general las corrientes son débiles. En el mes de agosto se



puede presentar velocidades de alguna importancia (hasta 0,8m), al combinarse la corriente de marea con el fortalecimiento de los Alisios (Figura 6a-b).

En el informe de Vega *et al.* (2008) se recomiendan algunas localidades donde fueron medidas las velocidades de las corrientes. Tomando

como base estos datos reales, en el presente trabajo se calculó el posible potencial ideal para una turbina de sección transversal de 1m<sup>2</sup>. Los resultados que se muestran en la Tabla 2, indican que el mayor potencial corresponde a la bahía de Nuevitas, donde científicos de la Universidad de Oriente, desde hace algunos años están realizando

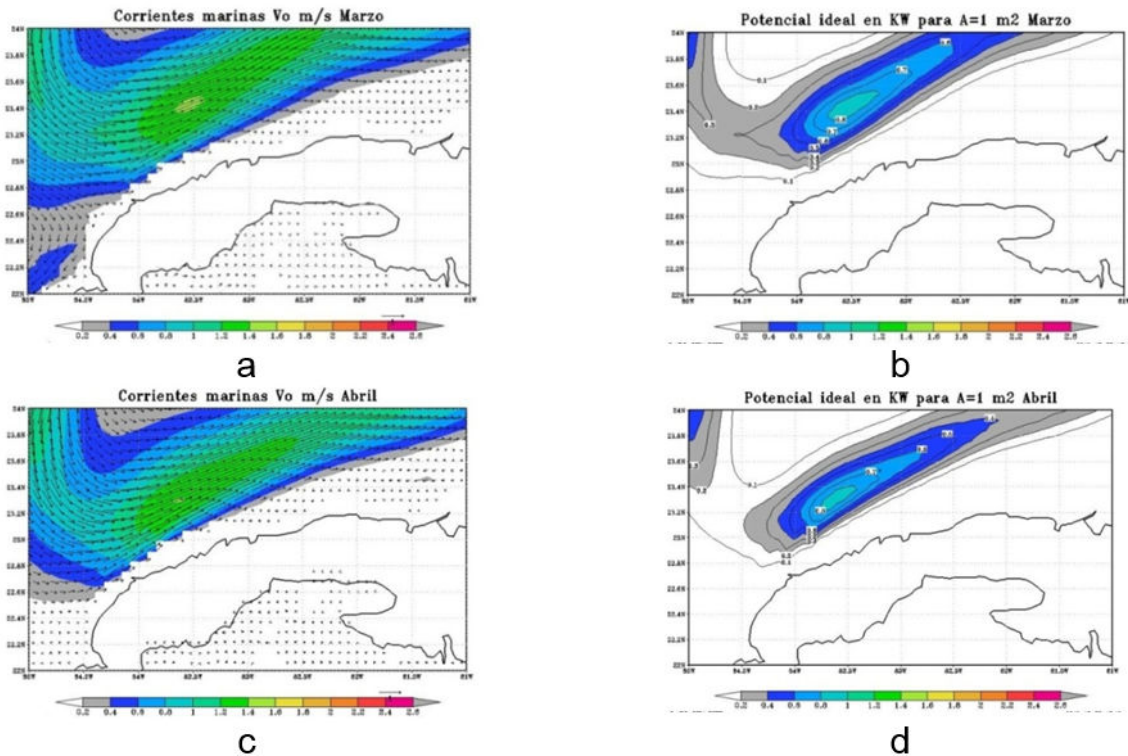


Figura 5. a, c) Patrón de corriente con velocidad máxima en los meses de marzo y abril b,d) Potencial energético en las cercanías de Los Colorados, en los meses de marzo y abril.

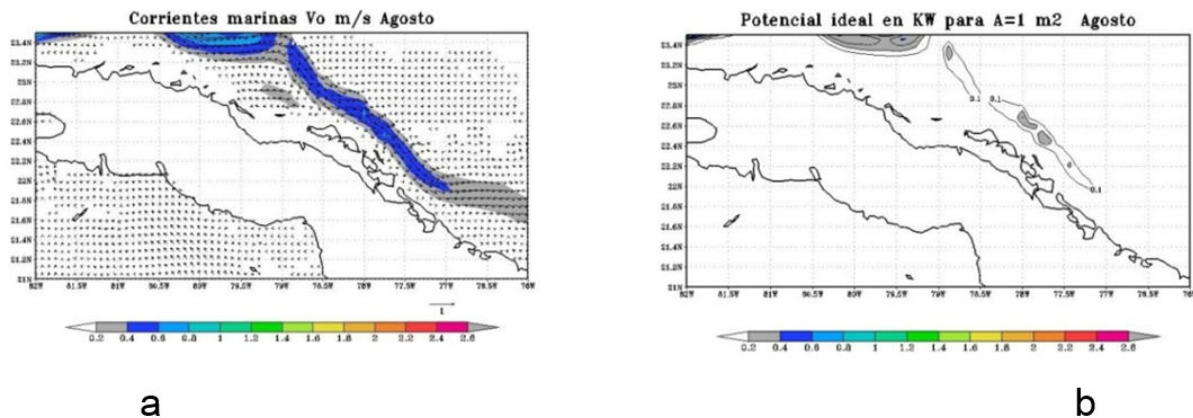


Figura 6. a) Patrón de corriente con velocidad máxima b) Potencial energético en el entorno del Archipiélago Sabana-Camagüey, agosto de 2010



experimentos para el aprovechamiento de este tipo de energía (Suárez y Beatón 2007).

La configuración de las bahías de bolsa favorece al incremento de la corriente de marea, de manera que las más idóneas en territorio cubano para la instalación de turbinas en sus canales de entrada, son las bahías localizadas en el tramo costero Isabela de Sagua- Baracoa. Ya en la tabla anterior se muestran las posibilidades de la Bahía de

Nuevitas, así que a continuación se analizarán las posibilidades de la Bahía de Nipe, que muestra las mejores condiciones en extensión y profundidad.

En la [tabla 3](#) se muestran los datos rescatados de los registros de prácticos de puerto ([Práctico de Puerto, 2017](#)) y otras fuentes. Obsérvese que para una turbina de 20 m de diámetro, pudiera producirse como máximo 30.77 kW

**Tabla 2.** Velocidad de las corrientes y potencial energético ideal para  $A=1 \text{ m}^2$

Localidad	$V_{\text{prom}}$ [m/s]	$P_c$ [kW]	$V_{\text{prom}}$ lateral [m/s]	$P_c$ Lateral [kW]	$V_{\text{max}}$ [m/s]	$P_c$ Max ideal [kW]	$V_{\text{max}}$ lateral [m/s]	$P_c$ Max lateral [kW]
Canales de la barrera exterior de cayos	0,2-0,3	0,002-0,008	0,186-0,279	0,002-0,007	0,5-0,9	0,038-0,221	0,465-0,837	0,03-0,178
Canal de entrada de la bahía de Nuevitas	0.5-0.6	0,038-0,066	0,465-0,558	0,03-0,053	1.2-1.7	0,524-1,49	1,11-1,58	0,422-1,199
Canal de Antón, en Cayo Fragoso	0.5-0.6	0,038-0,066	0,465-0,558	0,03-0,053	1.2-1.7	0,524-1,49	1,11-1,58	0,422-1,199

**Tabla 3.** Dimensiones, velocidad máxima posible y potencial energético ideal en la Bahía de Nipe para  $A=1 \text{ m}^2$

Área de la bahía [m <sup>2</sup> ]	2.2*10 <sup>8</sup>
Profundidad del canal de entrada [m]	25
Ancho del canal de entrada [m]	555
Sección transversal [m <sup>2</sup> ]	13875
Período [s]	43200
Valor mínimo de marea [m]	0,2
Valor máximo de marea [m]	0,8
$V_c$ mínima [m/s]	0,2936
$V_c$ máxima [m/s]	1,1745
$P_c$ mínima [kW]	0,007679
$P_c$ máxima [kW]	0,491437
$V_c$ mínima lateral [m/s]	0,2730731
$V_c$ máxima lateral [m/s]	1,092292
$P_c$ mínima lateral [kW]	0,006176
$P_c$ máxima lateral [kW]	0,395291

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En las aguas aledañas a Cuba, las corrientes marinas presentan velocidades menores de 1 m/s y solamente en el área de la corriente de lazo, al norte de las provincias de Pinar del Río y Artemisa, ocasionalmente se observan algunos valores entre 1,2 y 1,6 m/s a más de 40 km de la costa cubana en la rama del canal de Yucatán y de más de 200 km en la rama del canal de La Florida. En la corriente de Yucatán, frente al Cabo San Antonio, en algunos meses es posible encontrar velocidades del orden de 1 m/s entre 30 y 50 km de distancia. Los valores mayores, de hasta 1,6 m/s, generalmente se localizan a más de 200 km de la costa cubana.

El potencial energético aprovechable, en algunos meses puede ser del orden de hasta 2 kW para una sección transversal de 1 m<sup>2</sup>, de modo que para lograr al menos un MW de potencia, sería necesario instalar una turbina de diámetro mayor de 168 m, a una distancia de varias decenas de kilómetros de las costas de Cuba.

Para el aprovechamiento de las corrientes de marea, las mejores condiciones se presentan en el canal de entrada de la Bahía de Nipe. Con valores de marea en el entorno de 1 m y suficiente profundidad para ejecutar instalaciones sumergidas, se conservaría la estética del paisaje. Se presenta como limitación, que estos valores altos de la marea no son diarios. Otras opciones serían la Bahía de Nuevititas, antes recomendada por estudiosos de la Universidad de Oriente, así como los canales y pasas recomendados por la Empresa GEOCUBA.

## REFERENCIAS

- Atwater, J.F. & Lawrence, G.A. 2008. "Limitations on Tidal Power Generation in a Channel". In: WREC (Ed.), *Proceedings of the 10 th World Renewable Energy Congress-WREC X*, Scottish Exhibition and Conference Centre, Glasgow, Scotland, pp 947-952, ISBN: 978-008-056-8973 Available: <https://www.tib.eu/en/search/id/TIBKAT%3A583800866/10th-World-Renewable-Energy-Congress-WREC-X-19/>, Consulted: January 15, 2015
- CEM (Coastal Engineering Manual). 2006. "Coastal Hydrodynamics". In: U.S. Army Corps of Engineers (Ed.), *Coastal Engineering Manual, Part II*, 612 p., Available: <http://www.chl.ercd.usace.army.mil/media> Consulted: August 1, 2016
- DWIA (Danish Wind Industry Association). 2003. *La ley de Betz*. Available: <http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/betz.htm> Consulted: August 22, 2016.
- Fernández Díez, P. 2008. *Energía del mar*. In: Biblioteca sobre Ingeniería Energética. Available: <http://es.libros.redsauce.net/libros/id=5>. Consulted: March 30, 2016.
- FONDEAR. 2008. *Océanos de energía, océanos de vida*. In: FONDEAR S. L., Available: <http://www.fondear.com> Consulted: March 30, 2016.
- GEBCO (2009) *Digital Bathymetry Atlas*, Published by the British Oceanographic Data Center, under the joint auspices of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographical Organization, with founding provided by the Environment Research Council (update May 2009).
- Hernández, M. & Díaz, G. (2003) "Mediciones y técnicas de procesamiento del nivel del mar en Cuba". In: *Memorias del Taller de Entrenamiento en Observación y Análisis del Nivel del Mar*. Available: [http://www.glosssealevel.org/sites/gloss/files/publications/documents/reportmarcelinohernandez\\_2003.pdf](http://www.glosssealevel.org/sites/gloss/files/publications/documents/reportmarcelinohernandez_2003.pdf) Consulted: August 22, 2016.
- HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model). 2015. *HYbrid Coordinate Ocean Model at the U. S. Global Ocean Data Assimilation Experiment*. Available: <https://hycom.org/> Consulted: May 29, 2015
- ICH (Instituto Cubano de Hidrografía). 1989. *Derrotero de las costas de Cuba*, Editorial:

- Instituto Cubano de Hidrografía, La Habana. 836 p.
- Lalander E. 2010. *Modeling Hydrokinetic Energy Resource for In-Stream Energy Converters*. Division of Electricity/Department of Engineering Sciences/Uppsala University, digital version, ISSN 0349-8352. Available: <https://www.teknik.uu.se/electricity/publication/publication-2000-2017> Consulted: May 29, 2015
- Mitrani I. & colectivo de autores. 2017. *Las inundaciones costeras en Cuba y sus tendencias*, Instituto de Meteorología/Agencia de Medio Ambiente (Eds.), La Habana, Cuba, 160 p., ISBN: 978-3000-061-1, Available <http://www.citmatel.cu> Consulted: December 3, 2017
- Mitrani I. & colectivo de autores. 2008. *Atlas Oceanográfico de las Aguas Cubanas*, Compendio de Resultados Científicos del PRCT “Análisis y pronósticos del Clima Terrestre y Espacial, Agencia de Medio Ambiente (Ed.), La Habana, Edición en soporte digital, ISBN: 978-959-300-001-7
- NHC (National Hurricane Center). 2017. *National Hurricane Center archive*. Available: <http://www.nhc.noaa.gov/archive> Consulted: May 29, 2017
- O'Rourke, F.; Boyle, F.; Reynolds, A. (2010) “Tidal current energy resource assessment in Ireland: Current status and future update”. *Renew. Sustain. Energy. Rev.*, 14: 3206-12.
- Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.039>. Consulted: May 27, 2015
- Prácticos de Cuba. 2017. *Bahía de Nipe, Lat: 20° 48' 00" N. Long: 75° 42' 00" W*. Available: [http://www.practicosdecuba.transnet.cu/sites/default/files/bahiade\\_nipe.pdf](http://www.practicosdecuba.transnet.cu/sites/default/files/bahiade_nipe.pdf) Consulted: October 2, 2017
- Simanca, J.; Ramírez, O.; Fernández, L.; Arriaza, L.; Rodas, L.; Sponda, S.; García, R.; Alburquerque, O.; García I. 2012. “Variabilidad de las corrientes marinas en el Canal de Yucatán: Lado Cuba. Contracorriente cubana, Primera Parte”, *Serie Oceanológica*, No. 10, 2012, versión digital, ISSN 2072-800x
- SPM (Shore Protection Manual). 1984. In: *Shore Protection Manual*, Department of the army USA my Corps of Engineers, Washington, DC 20314, Vol. 1
- Suárez J. A.; Beatón P. A. 2007. “Estado y perspectivas de las energías renovables en Cuba”. *Tecnología Química*, vol. XXVII, núm. 3, septiembre-diciembre, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, ISSN: 0041-8420, 75-82
- Vega F.; Fernández, L. F.; Viamonte, J. L.; Rondón, H. R.; Díaz, J. E. 2008. Evaluación de las potencialidades de los recursos marinos en función de la obtención de energía eléctrica a partir de la energía del mar, *Informe de Resultado Científico*, Empresa GEOCUBA-Estudios Marinos, La Habana, 63 p.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Los autores de este trabajo declaran presentar una participación igualitaria en la concepción, ejecución y escritura de la investigación.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)