

# POTENCIALIDADES DE LA ENERGÍA MAR EN FUNCIÓN DE LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA PESQUERA EN CUBA

Fermín Manuel Vega Desdín, Lázaro J. Fernández Vila,  
Jorge L. Viamonte Fernández y Julio Ernesto Díaz Díaz  
GEOCUBA Estudios Marinos. Grupo Empresarial GEOCUBA  
Punta Santa Catalina, Regla, Ciudad de La Habana, Cuba

## RESUMEN

Estudios oceanográficos realizados en aguas marinas cubanas han permitido identificar grandes diferencias de temperatura en la distribución vertical de las aguas oceánicas adyacentes; estos gradientes térmicos pueden utilizarse para la generación de energía eléctrica a partir del uso de energía térmica marina. Esta tecnología tiene ventajas secundarias, debido a que el agua fría bombeada desde las profundidades es rica en sustancias nutritivas y sin agentes patógenos la que puede ser utilizada en el cultivo de especies marinas. Otras fuentes de energía marina que pueden ser utilizadas como generadoras de energía eléctrica se relacionan con las mareas y la intensidad de las corrientes marinas, sobre todo en canales y pasas donde los flujos se incrementan.

*Palabras clave:* energía del mar, energía eléctrica, aguas marinas cubanas

## INTRODUCCIÓN

La industria pesquera en Cuba adolece de una infraestructura energética en las áreas de acopio de los distintos recursos pesqueros. Lo ideal sería que cada una de las instalaciones pesquera (centro de acopios, centro de procesamientos, muelles, etc.) funcionaran de forma racional con energía renovable a partir de la energía que nos puede brindar nuestros mares.

El presente trabajo permite evaluar el potencial natural que tiene los mares de nuestra plataforma en para ser aprovechado para obtener energía eléctrica y abastecer de forma racional las entidades pesqueras disminuyendo sus costos de operaciones debido al uso de este tipo de energía renovable.

Los parámetros a considerar en este trabajo son las mareas, las corrientes de marinas y el gradiente termocénico.

Para nadie es un secreto que los combustibles fósiles son actualmente una de las principales fuentes de producción de energía, pero también, son responsables en gran parte, de la contaminación ambiental y del calentamiento de la tierra. Una manera de evitar el exceso de emanaciones de dióxido de carbono, es el uso de energías limpias, que no sólo ayuden a evitar la contaminación de la Tierra, sino que de alguna manera, constituyen una fuente de ahorro, ya que se aprovecharían las posibilidades que nos brinda la naturaleza para proveernos de energía renovable, limpia y alternativa.

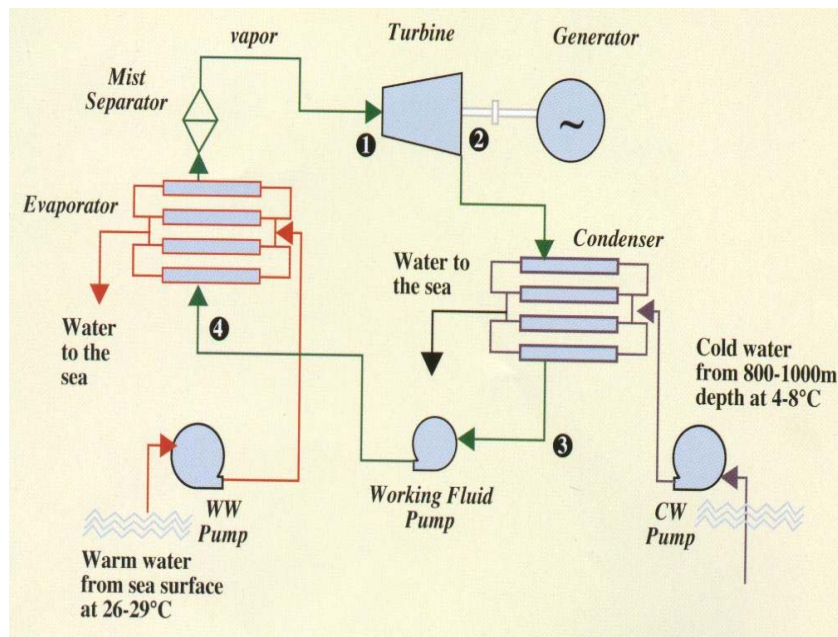
En concordancia con ello, se realizó un inventario de toda la información que de estos parámetros oceanográficos, se tiene en los archivos de la Empresa GEOCUBA Estudios Marinos, así como de los trabajos que de una forma u otra, caracterizan, con diferentes objetivos, los regímenes hidrológicos (régimen térmico, en específico) e hidrodinámicos (mareas y corrientes marinas), de las aguas marinas cubanas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Gradientes de temperatura

La conversión de energía térmica oceánica (OTEC, del inglés Ocean Thermal Energy Conversión), es un método de convertir en energía eléctrica útil la diferencia de temperatura entre el agua de la superficie y el agua que se encuentra hasta unos 1 000 m de profundidad. En las zonas tropicales esta diferencia varia entre 20-24 °C, siendo suficiente para el aprovechamiento de la tecnología OTEC, una diferencia entre los 18-20 °C.

El principio termodinámico se muestra en el esquema 1, donde el fluido de trabajo con bajo punto de ebullición y condensación es capaz de mover los alabes de la turbina, la cual a su vez transmite su movimiento al generador para la producción de corriente eléctrica. Otras producciones y servicios son posibles en este tipo de industria renovable, tales como agua desalinizada, especies marinas, obtención de minerales y climatización.



Esquema 1 El principio termodinámico.

En los últimos años, la tecnología ha presentado un lento pero persistente desarrollo, y tiene como líderes internacionales, a los Estados Unidos, Japón y la India.

Las ventajas de esta fuente de energía se asocian a que es un salto térmico permanente y benigno desde el punto de vista medioambiental. Puede tener ventajas secundarias, tales como alimentos y agua potable, debido a que el agua fría profunda es rica en sustancias nutritivas y sin agentes patógenos. Desde el punto de vista pesquero, este tipo de tecnología, además de la energía eléctrica que nos brinda se puede desarrollar el maricultivo como un beneficio adicional más.

### Principales resultados acerca de las particularidades de la temperatura de las aguas oceánicas cubanas

El ciclo anual de la temperatura promedio mensual del agua en la capa superficial muestra mínimos en el mes de febrero con valores que oscilan entre 24,7-25,8 °C y máximos superiores a los 29 °C en el mes de septiembre. Muestra además, que la costa norte posee valores térmicos inferiores a los de la costa sur (Fig. 1). Con respecto a la distribución vertical de la temperatura del agua se señala que, con la profundidad la temperatura del agua disminuye gradualmente registrándose las mínimas cercanas a 4 °C, a partir de los 1 200 m de profundidad durante todo el año. (Fig. 2).

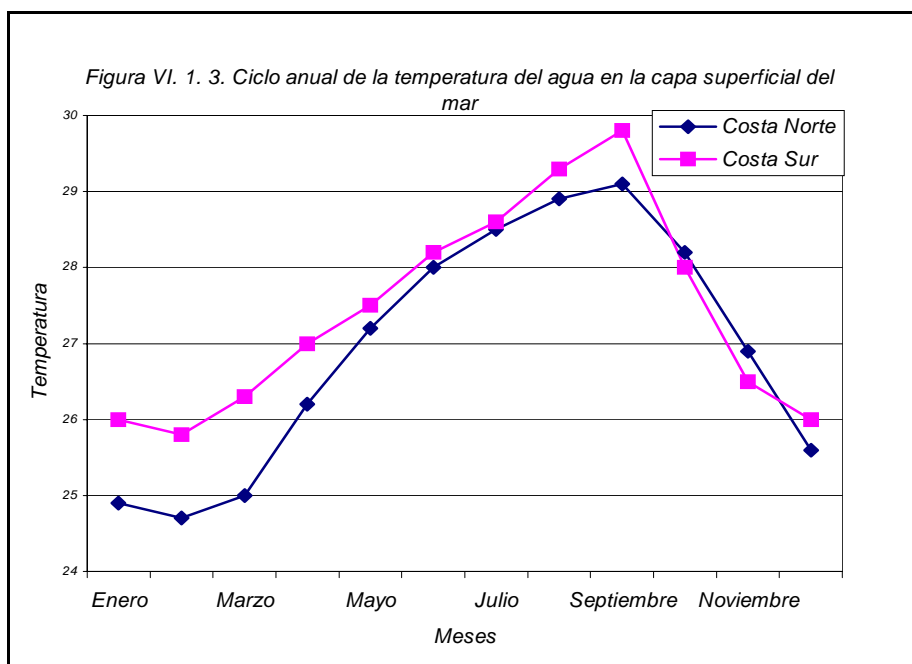
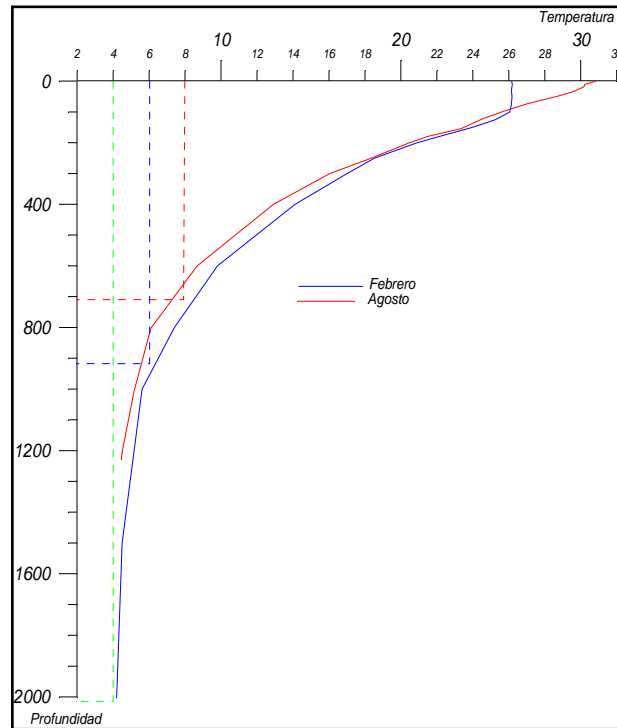


Fig. 1 Ciclo anual de la temperatura superficial de las aguas oceánicas cubanas, por costas.



**Fig. 2** Ejemplo de la distribución vertical de la temperatura de las aguas oceánicas cubanas, en verano e invierno.

Por otra parte, la isobata de 1 000 m pasa bastante cercana a las costas cubanas, punto este a favor del uso de la energía del gradiente térmico con fines de generación de electricidad. O sea, que se posee suficiente información hidrotérmica, para caracterizar cualquier punto de interés alrededor de Cuba, en cualquier época del año, con el objetivo de definir zonas en las cuales sea factible la implementación de la tecnología OTEC.

### Energía de las mareas

Con el flujo y reflujó, el nivel de las aguas cerca de las costas se eleva y desciende y la energía potencial de este intervalo de marea puede ser explotada. También es posible aprovechar la energía cinética del movimiento de las aguas producido por la corriente de marea en si misma.

El aprovechamiento de la energía de las mareas depende de las condiciones que brindan determinadas zonas del planeta y necesita de grandes acuatorios naturales, con amplitudes de mareas altas y fuertes corrientes de mareas.

Las mareas producen una energía que se transforma en electricidad en las centrales maremotrices, donde se aprovecha la energía liberada por el agua de mar en sus movimientos de ascenso y descenso (flujo y reflujó de mareas), embalsando el agua del mar en ensenadas naturales y haciéndola pasar a través de turbinas hidráulicas.

El sistema consiste en aprisionar el agua en el momento de la marea alta y liberarla, obligándola a pasar por las turbinas, durante la bajamar. Cuando la marea sube, el nivel del mar es superior al del agua del interior del embalse. Abriendo las compuertas, el agua pasa de un lado a otro del dique, y sus movimientos hacen que también se muevan las turbinas de unos generadores de corrientes situados junto a los conductos por los que circula el agua. Cuando por el contrario, la marea baja, el nivel de la mar es inferior al del embalse, porque el movimiento del agua es en sentido contrario al anterior, pero también se aprovecha para producir electricidad.

La historia de la utilización de las mareas como fuente de energía, se remonta a varios siglos. Los ribereños ya habían utilizado el flujo de las mareas para hacer girar las ruedas de sus molinos, que eran construidos a lo largo de las orillas de algunos ríos del oeste de Francia y otros países, en los cuales las mareas vivas son de cierta intensidad. Aún pueden verse algunos de estos molinos en las costas normandas y bretonas francesas. Los molinos se instalaban en el centro de un dique que cerraba una ensenada; así se creaba un embalse que se llenaba durante el flujo por medio de unas compuertas; durante el reflujó, el agua salía y se accionaba la rueda de las paletas. La energía solo se obtenía una vez por intervalo de marea. Se tardó bastante tiempo en pasar de los sistemas rudimentarios a los que hoy en día conocemos, debido a que la construcción de una central mareomotriz planteaba problemas importantes, requiriendo sistemas tecnológicos avanzados.

En ocasiones, para algunas regiones con amplitudes de marea pequeñas, como es el caso de nuestro país, se ha propuesto construir grandes represas costeras que permitirían generar energía eléctrica con grandes volúmenes de agua, a partir de estas pequeñas diferencias de niveles de marea. Esto supondría elevados gastos de construcción y una grave agresión para el medio ambiente.

La marea es probablemente el fenómeno oceanográfico mejor estudiado en nuestro país. La creación de una Red Mareográfica Nacional (RMN) y la gran cantidad de estudios oceanográficos realizados en diversas áreas de la plataforma cubana y que en su gran mayoría muestrearon este parámetro, a conllevado a la existencia de un fondo de datos bastante extenso y de calidad, que ha permitido determinar las constantes armónicas (la amplitud y fase de cada onda) de 37 Puestos de Nivel, utilizando los datos de alturas horarias de la marea recopilados en las estaciones permanentes que integran la Red Mareográfica Nacional y material del Archivo del Servicio Mareográfico, procedente de estaciones que funcionaron de forma provisional en el marco de proyectos oceanográficos e hidrográficos. Los cálculos fueron realizados con el software "Sistema de Marea", confeccionado para la adquisición y procesamiento de la data de marea.

De acuerdo con Rodríguez y Rodríguez (1983), "en las costas cubanas se observan dos tipos fundamentales de mareas: mixtas y semidiurnas. La marea mixta se encuentra difundida alrededor de casi toda la Isla y puede subdividirse según el criterio de Dubanin (1960) en: marea diurna irregular y semidiurna irregular. La primera aparece en la costa NW, desde el E de La Fe hasta cerca de Cabañas, y la segunda en el resto de las costas, excepto la bahía de Cienfuegos, la zona de Manzanillo y el tramo costero NE desde la zona Cayo Blanquiza, al N de Las Villas, hasta la zona de Nipe, donde aparece la marea semidiurna".

En la costa N se producen amplitudes de marea superiores a las de la costa S. Las mayores amplitudes de marea en la isla se registran en el tramo costero de Isabela de Sagua a Baracoa, donde en ocasiones alcanza los 1,20 m.

Es necesario señalar, que la amplitud de las mareas en las costas cubanas parece ser una limitante para la implementación de centrales maremotrices, pues las mayores amplitudes tienen lugar en el tramo costero de Isabela de Sagua a Baracoa, donde en ocasiones alcanza los 1,20 m, con promedios de 0,70 m.

### Corrientes de marea

La energía cinética de las corrientes costeras generadas por las mareas (corrientes de marea), puede ser explotada empleando los mismos principios usados en las turbinas de viento. Ya que el agua marina es 832 veces más densa que el viento, la corriente de marea puede proporcionar niveles útiles de energía de velocidades mucho más bajas. Por ejemplo, el flujo de un agua de 1 m/s (aproximadamente 2 nudos) porta la misma densidad de energía cinética que un viento soplando a 9 m/s (8 nudos) (Fraenkel, 1999, citado por Ball, 2002). Esta energía cinética puede ser convertida en electricidad, con una eficiencia relativamente alta, usando turbinas submarinas (o grupos de turbinas) desplegadas lateralmente a través del flujo en los lugares con corrientes fuertes. Para estos propósitos, el requerimiento necesario más probable para una operación económica y práctica, es la existencia de una localidad donde el pico principal de la velocidad de las mareas vivas esté en el rango de 2-3 m/s (de 4-6 nudos). (Fraenkel, 1999; Osborne, 2000; ITPower website, citado por Ball, 2002) Es conveniente señalar, que una velocidad de corriente marina de 1 nudo (1,852 km/h) es equivalente en términos de energía eólica a un viento 49 km/h.

Como ejemplo concreto de la implementación de este tipo de tecnología, citaremos, que en el estrecho de Kvalsund. Noruega se encuentra instalado un parque submarino de turbogeneradores eléctricos, similares a los eólicos en su diseño, movidos por turbinas. Tiene 400 m de ancho, la velocidad promedio es de 1,8 m/s (4,07 nudos) y llega hasta 2,5 m/s (5,66 nudos), la profundidad máxima es de 50 m, tiene un tráfico marítimo considerable y es cruce habitual de muchas especies de peces y mamíferos como las orcas y las ballenas. Posee 20 generadores de 200 kW ubicados a 17 m de profundidad, a 80 m de la costa al oeste del puente y suministran la energía que consume el municipio Kvalsund en el condado de Finnmark con 1091 habitantes y un consumo anual de 21 GW año. Leyva Canavaciolo *et al.* (2007).

Las corrientes marinas en las aguas de la plataforma cubana han sido estudiadas con mayor o menor grado de profundidad, en dependencia de la importancia económica relativa de cada sector de plataforma. Existen varios lugares que son potencialmente altos, debido a que las velocidades de la corriente sobrepasan 50 cm/s y son idóneos para utilizarse con estos fines. Ejemplo de estos lugares se encuentra: Canales de entrada de las bahías de Banes, Nuevitas, Nipe y algunos Puentes de los Pedraplenes del Archipiélago Sabana – Camagüey.

## Corrientes oceánicas

Los grandes sistemas de corrientes marinas del Océano Mundial, son enormes masas de agua que, como consecuencia de su calentamiento por la acción directa del Sol y las variaciones del contenido de sales de las masas de agua que involucran, entre otros factores, se desplazan horizontalmente, resultando verdaderos ríos salados que recorren la superficie de los océanos.

La anchura y profundidad de estas corrientes marinas son a veces considerables, alcanzando en algunos casos, centenares de metros. Las trayectorias de tales corrientes son cuasiconstantes, circunstancia esta que aprovechó el hombre desde tiempos remotos para la navegación a vela, como primer ejemplo de utilización de la fuerza de las corrientes marinas. La gran corriente caliente del Golfo, en su recorrido desde el Golfo de México hasta las costas occidentales de Europa, no solo suaviza el clima de éstas, sino que facilita además la travesía del Atlántico a los buques que se dirigen de W a E. Estas corrientes relativamente estables en el tiempo y el espacio atraviesan océanos, bordean y bañan costas de continentes completos y son portadoras de un potencial energético incalculable, pero desgraciadamente, las profundidades oceánicas, las variaciones constantes del tiempo marítimo, unido al aun débil desarrollo tecnológico alcanzado, hacen todavía un sueño su explotación.

La energía de estos megaflojos podría ser utilizada, en zonas costeras ocupadas por estas corrientes de gradiente oceánicas, o desde instalaciones en dispositivos flotantes (Barcos, patanas ancladas, etc.), o con equipos diseñados con anclajes en aguas profundas.

Alrededor de nuestras costas las principales características de estas corrientes son las siguientes:

*Región Noroccidental:* Las velocidades máximas de las corrientes alcanzan los 140 cm/s durante el mes de septiembre y 100 cm/s en los meses de diciembre febrero y junio. El valor máximo de velocidad que se ha reportado ha sido de 200 cm/s y fue muestreado en el mes de junio de 1997.

*Canal de San Nicolás y Canal Viejo de las Bahamas:* Se generan contracorrientes costeras con velocidades de 50 cm/s en el otoño.

*Región Nororiental:* En la capa superficial las corrientes más intensas se registraron entre la Bahía de Nuevitás y Puerto Padre, alcanzando velocidades entre 55-95 cm/s en la época de invierno y en el otoño. Al N de Moa, en el verano y la primavera las velocidades no son superiores a un nudo (50 cm/s). En el Paso de los Vientos las velocidades máximas fueron de 50 cm/s.

*Región Suroriental:* Durante el verano las velocidades se aproximan a 1 nudo (50 cm/s).

*Región Surcentral:* Durante la primavera al S del Golfo de Ana María las velocidades no superan los 50 cm/s. En el otoño, se destacan velocidades de corrientes máximas de 100 cm/s. Entre el S de Cayo Guano del Este y el S de Trinidad, hay velocidades inferiores a 1 nudo (50 cm/s).

*Región Suroccidental:* Las velocidades de las corrientes en la costa S generalmente no exceden de 1 nudo, aunque se observan valores superiores en algunas zonas próximas a las costas.

## **CONCLUSIONES**

1. Las aguas oceánicas inmediatas a las costas de Cuba, presentan un alto grado de potencialidad real de utilización del recurso “gradiente de temperatura”, ya que en cualquier época del año, este se mantiene alrededor de los 20 °C entre superficie y los 1000 m de profundidad, y en áreas extensas, la isobata de 1000 m se ubica a una distancia de 0,5-2 millas de la costa.
2. La amplitud de las mareas en las costas cubanas parece ser una limitante para la implementación de centrales maremotrices, pues las mayores amplitudes, que tienen lugar en el tramo costero de Isabela de Sagua a Baracoa, alcanzan apenas los 1,20 m, con promedios de 0,70 m.
3. Con la información hidrológica de aguas profundas, y utilizando métodos indirectos de cálculo, se han podido determinar los patrones de la circulación geostrófica de las aguas cubanas para diferentes épocas del año. Se han observado fuertes corrientes de gradiente, en diferentes localidades y tiempos, de hasta 200 cm/s.
4. A pesar de que la amplitud de la marea alrededor de las costas de Cuba se puede considerar pequeña, las corrientes de mareas en algunas localidades pueden ser intensas. Corrientes de este tipo tienen lugar en los canales de entrada de las bahías de bolsa Nuevititas, Banes y Nipe, en algunos canales y pasas naturales entre cayos de las barreras exteriores de cayos de las cuatro zonas de la plataforma cubana, en especial, en el canal de Antón, en Cayo Fragoso y en Pasa Carabela al N de la bahía La Gloria, bahías del Archipiélago Sabana – Camaguey, así como en algunos puentes de los pedraplenes construidos en dicho Archipiélago. Las corrientes de marea pueden alcanzar aquí velocidades promedio del orden de los 50-60 cm/s y máximas de 120-170 cm/s.
5. Por la ubicación actual de las distintas instalaciones de la industria pesquera en nuestra plataforma el potencial mayor de utilización lo vemos en las corrientes marinas.

## **RECOMENDACIÓN**

Estudiar las corrientes marinas en las áreas de ubicación de las instalaciones de la industria con el fin de aprovechar este recurso en función de un desarrollo sostenible en esta rama.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Díaz, I.; I. Pérez y D. López. (1999): Estudio Oceanográfico Integral para la construcción de un vial entre los Cayos Guillermo y Santa María. Archivo Técnico de GEOCUBA. La Habana, 85 pp.
- Domínguez Cordovés, G.;, C. Socorro y L. García (1995): Caracterización oceanográfica de la bahía de Los Perros. Informe parcial de la primera etapa de trabajo (diciembre de 1994). Proyecto GEF – PNUD “Protección de la biodiversidad y desarrollo sostenible de los ecosistemas Sabana – Camagüey”,



- Fernández Vila, L. J. y otros (1993): Atlas oceanográfico de las aguas del Archipiélago de Sabana – Camagüey. Dpto. de Investigaciones de Oceanografía Física. Instituto Cubano de Hidrografía. La Habana. 235 pp.**
- Fernández Vila, L. J.; A. Cerveto Osipova, J. Milanes Mendoza y V. Pérez Castilla (1996): Características oceanográficas de la zona oeste de la bahía de Santa Clara, durante enero-febrero de 1996. Informe parcial de la primera etapa. Archivos de GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla. Ciudad de La Habana.**
- Fernández Vila, L. J.; G. Domínguez Cordovés y A. Cervato Osípova (1996): Características oceanográficas de la zona oeste de la bahía de Santa Clara, durante agosto de 1996. Informe parcial de la segunda etapa. Archivos de GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla. Ciudad de La Habana.**
- Fernández Vila, L. J. y otros (2006): Caracterización oceanográfica de la plataforma insular cubana y la influencia de variaciones antrópicas. Informe Científico de Resultado Parcial del Proyecto de Investigación y Desarrollo: “Bases oceanográficas para el estudio de las afectaciones del cambio global en la biodiversidad marina y costera de Cuba”, del PNCT “Cambios Globales y Evolución del Medio Ambiente Cubano”. (PNCT 013. Código: 01309180). Archivos de GEOCUBA Estudios Marinos y de la AMA. La Habana. 154 pp.**
- García, C. (1981): Temperatura de las aguas oceánicas de Cuba. I. Aguas superficiales. Rev. Cub. Inv. Pesq., 6(2): 1981. Centro de Investigaciones Pesqueras, Miramar, La Habana, Cuba, pp. 1-16.**
- GEOCUBA Estudios Marinos (2005): proyecto corrientes. Agosto-septiembre de 2005. Código Oc: 319.**
- GEOCUBA Estudios Marinos (2006): Proyecto Corrientes (Zonas noroccidental y surcentral). Abril del 2006. Código Oc: 268.**
- GEOCUBA Estudios Marinos (1999): Álbum de corrientes. Cruceros bojeo de agosto 1995, diciembre y junio de 1997 y septiembre de 1998.**
- GEOCUBA Estudios Marinos (2005): Organización, depuración, conservación, sistematización y desarrollo del patrimonio de información de estudios marinos (I etapa). Catalogo Agencia de Oceanografía Física y Química. Informe Técnico. Archivos de la Agencia de Oceanografía Física y Química. Empresa GEOCUBA Estudios Marinos. Pta. Sta. Catalina, Regla. Ciudad de La Habana.**
- Gutiérrez, A. y J. Jiménez (2002): Atlas de corrientes marinas. Código Oc: 275.**
- Leyva Canavaciolo, R. S. y otros (2007): La energía de las corrientes de mareas. Canal de acceso a la Bahía de Nuevitas. Grupo de Investigaciones de la Energía Marina (GIEM). Universidad de Camagüey.**
- Igorof, N. I. (1974): Oceanografía Física. (En ruso). Hidrometeoizdat, Leningrado. 455 pp.**
- Marzo Lobaina, O. (2006): Juegos de constantes armónicas de diferentes localidades de las costas cubanas. Grupo de Marea. Geocuba Geodesia.**
- Morales Abreu, A.; I. Pérez Santos y L. J. Fernández Vila (1995): Estudio de las corrientes marinas en la Canal de Los Barcos. Informe parcial de la primera etapa de trabajo de mar. (Junio-julio de 1995). Archivos de GEOCUBA E. M. Punta Santa Catalina, Regla, Ciudad de La Habana, Cuba.**

- Pérez, I.; A. Cervato y A. Morales (1995): Caracterización oceanográfica de la zona este de la Bahía San Juan de los Remedios y Buenavista, durante noviembre, diciembre junio y julio de 1995. GEOCUBA, La Habana.**
- Pérez, I.; J. Jiménez y L. M. Viera (1997) Investigación oceanográfica de la zona NW de la Bahía San Juan de los Remedios para la construcción del pedraplén a Cayo Fragoso, GEOCUBA, La Habana.**
- Rodríguez Portal, J. P. y J. E. Rodríguez Ramírez (1983): Las mareas en las costas cubanas. Acad. Cien. Cuba, Rep. Invest. Oceanol., 6: 1-37.**
- UMCC (2008): “Estudio de Prefactibilidad de las Tecnologías OTEC para creación de Capacidades Productivas en la Bahía de Matanzas y/o en las zonas aledañas al sitio histórico conocido como Piscina de Mr Claude”. Código 00613360. Proyecto de Investigación y Desarrollo. Programa Desarrollo Energético Sostenible. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” de Matanzas. Cliente: MINBAS. Entidad ejecutora: Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” de Matanzas (UMCC). Entidades participantes: EPEP Centro, GEOCUBA Estudios Marinos. Jefe de Proyecto: Julio Ernesto Díaz Díaz.**
- Victoria, I. R. y otros (1990): Características Oceanográficas de la Fosa de Jagua y de la Zona Económica Exclusiva al Sur de Cuba. Informe Final de Tema. Archivo Científico del Instituto de Oceanología, Cuba.**