

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/309349612>

POTENCIAL ENERGÉTICO RENOVABLE EN EL MAR CARIBE MEXICANO.

Conference Paper · November 2012

CITATIONS

4

READS

316

3 authors, including:



Juan Barcenas

Universidad del Caribe (Mexico)

24 PUBLICATIONS 27 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



DETECCIÓN DE LUGARES DE APROVECHAMIENTO DE GRADIENTES DE TEMPERATURA CON POTENCIAL ENERGÉTICO DE EXPLOTACIÓN EN MÉXICO, PÁRA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA TIPO OTEC. [View project](#)



CEMIE-Océano [View project](#)



MEMORIAS

IX Congreso de Ciencias del Mar
MarcCuba
Ciencias Marinas y Costeras
al Servicio de la Sociedad **2012**

29 de Octubre al 2 de Noviembre, 2012
Palacio de las Convenciones, La Habana, Cuba



IX Congreso de Ciencias del Mar-MARCUBA´2012

“Ciencias marinas y costeras al servicio de la sociedad”

Programa Científico

Palacio de Convenciones de La Habana
29 de octubre al 2 de noviembre de 2012

J. F. Bárcenas Graniel¹, F. G. Ruiz Rentería², M. A. Alatorre Mendieta².

¹ Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, Unidad Académica Sistemas Arrecifales, Puerto Morelos Quintana Roo.

²Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, Circuito Exterior S/N C.U. Delegación Coyoacán C.P. 04510, Ciudad de México D.F.

jbarcenas@ucaribe.edu.mx

Resumen

Por sus características físicas, el Mar Caribe es un depósito de energía renovable y este recurso en México se encuentra en un área de 98 000 km², y 825 km de litoral, correspondientes a su Zona Económica Exclusiva, colindando con las porciones de mar de la República de Cuba, Republica de Honduras y Belice. Actualmente en diversas partes del mundo existe producción de energía comercial, principalmente electricidad por medio de dispositivos marinos clasificados en cinco categorías: mareomotriz, corrientes de mareas, undimotriz, Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) y gradiente salino (Se excluyen los biocombustibles). Se muestra a continuación cuales son las energías renovables del Caribe de México y su potencial energético. Para ello se realizó un estudio sobre el estado del arte de las energías del Océano que comprendió, la tecnología comercial existente y sus metodologías de evaluación. También se analizaron bases de datos oceanográficos que fueron contrastados con los rangos de operación de tales tecnologías y con las características físicas del área de estudio. Resultando que existen potenciales energéticos estimados en las categorías de: OTEC de 700 MW_e en profundidades mayores a 800 metros y menores a 1 000 metros; olas con 1 000 MW_e. Corrientes con 2 500 MW_e desde la superficie y hasta 40 metros de profundidad; y gradiente salino con 40 MW_e. En conclusión el Mar Caribe cuenta con recursos energéticos renovables disponibles para su explotación, que tendrán que ser reevaluados desde el punto de vista ambiental, técnico y financiero lo que permitiría tener alternativas renovables a las fuentes de energía convencionales.

Palabras clave: OTEC, undimotriz, mareomotriz.

1. Introducción.

Se ha demostrado que a través de diferentes tecnologías marinas el Océano y sus diferentes manifestaciones energéticas pueden proveer energía comercial principalmente electricidad y en algunas producción de agua dulce. Estas tecnologías se clasifican en cinco categorías (Fig.1): amplitud de mareas, rise & fall o mareomotriz, corrientes de mareas, olas o undimotriz, gradiente térmico también conocido como OTEC, gradiente salino o Energía Azul (IEA OES 2006) . Se muestran ejemplos de estas tecnologías en las fotografías 1 a 7.

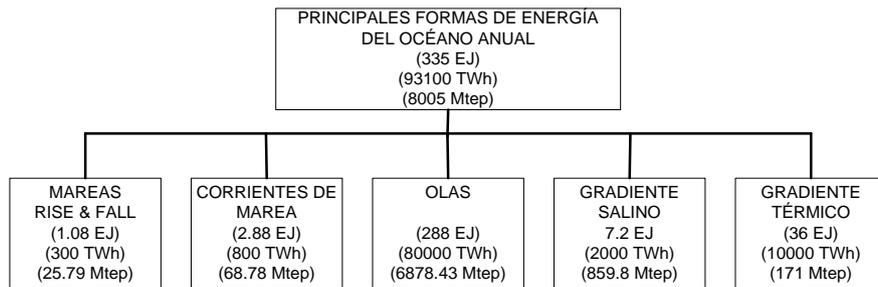
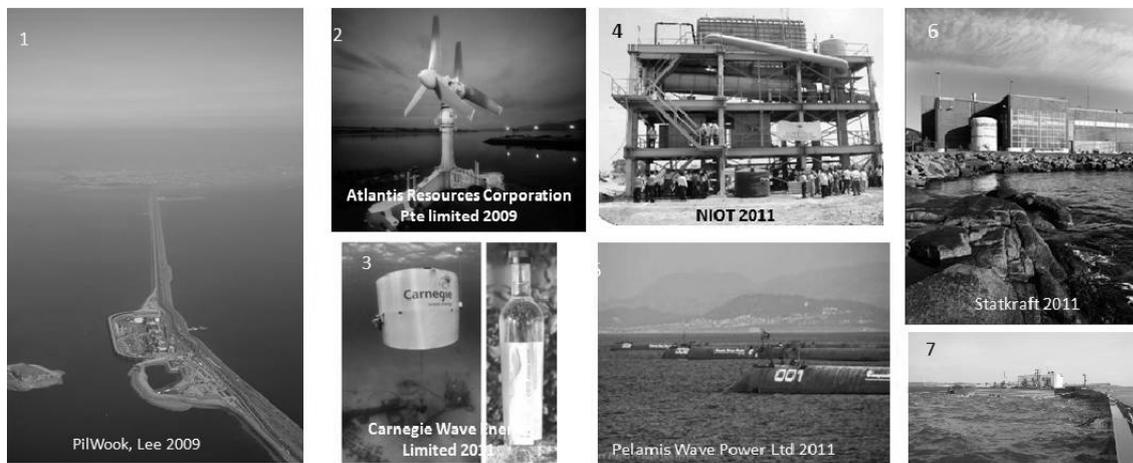


Figura 1. Potencial energético estimado de las principales formas de energía del océano. (Fuente: *Op cit* Policy Report, IEA-OES, 2006)

Las unidades de energía y potencia se expresarán en Exa, Giga o Mega Julios ($1 \times 10^{18} \text{J}$; $1 \times 10^9 \text{J}$; $1 \times 10^6 \text{J}$ respectivamente), en cuanto a la producción de electricidad se reportará en GWh ($1 \times 10^9 \text{W} = 3600 \times 10^9 \text{W}$) y la potencia eléctrica en MW_e ($1 \text{MWh} = 0,086 \text{tep}$).



Fotografías, tecnologías comerciales y pre comerciales y corresponden a; 1, Mareomotriz Sihwa Corea del Sur (2011) de 254 MW ; 2, Atlantis AK-1000 , Reino Unido (2010) de 1 MW ; 3, Tecnología CETO, Energía + Agua dulce, Australia (2008) (con presiones <1000 PSI. 4, Sagar Shakti OTEC-Ciclo Abierto 1-MW de la India, provee 100 m^3 al día; 5, Aguaçadura (2008), granja de extracción de energía de las olas en Portugal; 6, Planta prototipo de energía osmótica, Noruega (2009) y 7, Wavedragon en Dinamarca costa de Nissum Bredning Fuente: (Wave Dragon 2005).

En México la exploración de los recursos energéticos renovables en la zona continental es un tema de estudio en vías de concretarse como un inventario general reunido en el Sistema de Información Geográfica para Energías Renovables en México (SIGER), del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) que contiene información de la distribución del recurso energético en el país, tales como: eólica, geotermia, micro hidráulica, solar y biomasa. Sin embargo el inventario de los recursos energéticos renovables en los mares de México es inexistente pero se tienen los elementos suficientes para sistematizarlo y llevarlo a cabo. Estos inventarios permitirían proyectar la posibilidad de incursionar masivamente en el aprovechamiento de la energía renovable como una alternativa al gas natural, el petróleo, y el carbón, (SENER 2011) .

El objetivo de este trabajo es presentar cuáles son las energías renovables del Caribe de México y su potencial energético convertido a energía eléctrica, de

acuerdo a las categorías de sistemas renovables de aprovechamiento de la energía del océano que son: energía de las mareas, olas, corrientes marinas, gradientes térmico y salino^a.

El enfoque de este estudio fue lograr información práctica y relacionada al Sistema Energético Nacional en cuanto a la posible generación de energía eléctrica, y para enmarcarlo se llevó a cabo el *Estado del arte* sobre los avances tecnológicos existentes en el aprovechamiento las diferentes manifestaciones de la energía del océano, para conocer sus rangos de operación tales como rangos de mareas factibles, velocidades de corriente mínimas, altura significativa y periodo de energía en olas, gradiente salino y térmico óptimo, así como profundidades de operación entre otros. Con esta información se seleccionó a posteriori cuales de las energías marinas serían técnicamente viables de ser utilizadas para aprovechamiento de energía del océano.

Paralelamente se seleccionaron y procesaron datos oceanográficos históricos que están reunidos en diferentes trabajos, bases de datos y sistemas de información geográfica (SIG): Principalmente se consultaron: Base de datos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) y el Atlas Climático Digital de México del Instituto de Ciencias de la Atmósfera Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); Centro de Investigación CICESE^b proyecto Kanek; El Mapa Digital de México del INEGI; Portal Mares de México CONABIO^c; Colegio de la Frontera Sur, (ECOSUR); Secretaría de Marina, (SEMAR); National Oceanographic Data Center (NODC) y World Ocean Atlas 2009 publications. Con información de las características físicas de la ZEE del MCM se seleccionaron las ecuaciones de transformación de la energía aplicables para desarrollar el cálculo del potencial energético por categoría y plasmando los resultados en tablas y gráficos y para ello se utilizó Microsoft Office Excel 2007, ArcExplorer 2.0.800 1997[©], Surfer 8.02 1993-2002[©], Google Earth[™] 6.1.0.5001.

3

2. Área de estudio.

El Mar Caribe de México, comprende el polígono de la Zona Económica Exclusiva de México^d (ZEE) delimitado por la línea que pasa sobre el trazo imaginario que une a la Península de Guanacabibes Cuba con Cabo Catoche México (Fig. 4), sumando un área aproximada de 98 000 km² y un litoral de 825 km incluyendo la isla Cozumel (Mapa Digital de México INEGI^e 2011) . En cuanto a la interface Rio Hondo (RH) - Bahía de Chetumal, Carrillo L. (2009) , menciona que es un cuerpo de agua con característica estuarinas, área de 2 560 km², con mareas semidiurnas mixtas con rangos de 10 a 20 centímetros. Menciona que la salinidad (ups) varía

^a Se incluyen las principales formas de energía del océano que hayan alcanzado un grado de investigación y desarrollo con plantas de producción de energía pre comercial o comercial, por lo cual se excluye biomasa marina. También no se incluyó eólica offshore al no estar considerada como formas de energía del océano en Policy Report, IEA-OES, 2006.

^b Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California México.

^c Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

^d Faja marítima situada fuera del mar territorial y adyacente a este, de una anchura máxima de 300 millas náuticas (684.5 kilómetros) en la cual los estados ribereños como los sin litoral tienen derechos de exploración y explotación, gozan de libertades de navegación y sobrevuelo y otros como: investigación científica marina, tendido de cables y tuberías submarinas, entre otros.

^e Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México.

estacionalmente con gradientes horizontales desde la desembocadura del RH, con: 18 -22 de marzo a mayo; 10-15 de junio a octubre y de octubre a febrero con 13 - 16.

Actualmente la batimetría en México se puede consultar en formato de datos vectoriales de la Carta Batimétrica Internacional del Mar Caribe y Golfo de México (IBCCA), hoja 1-06, en formato digital. La batimetría se divide en tres zonas diferenciadas por sus rangos de profundidades que son en de 0 a 700 metros (Zona baja); de 700 metros a 2 000 m (zona intermedia) y de 2 000 a 5 131 metros (zona profunda). La plataforma continental se extiende alrededor de los 100 a 120 kilómetros a partir de la costa, localizándose la zona más profunda en la parte oriental de la ZEE. La batimetría de la Bahía de Chetumal es relativamente somera (4 m en promedio), con un canal central que presenta una profundidad promedio de 6 a 8 m con dirección SO. (Sánchez, Alberto *et al* 2008) .

Las masas de agua del Caribe de México tienen las siguientes características: Agua Subsuperficial del Atlántico Norte (ASSAN), con un rango de temperaturas de 21 a 23°C, 36.6 a 37 ups, ubicada entre los 50 a 250 metros de profundidad y un volumen relativo del 5%; El Agua Central del Atlántico Noroccidental (ACAN), con un rango de temperaturas de 7 a 20 °C, 35 a 36.7 ups y se encuentra a profundidades de 250 a 750 metros, con un volumen relativo de 12%; El Agua intermedia del Antártico (AIA), tiene un rango de temperaturas de 2 a 6 °C, salinidad de 33.8 a 34.8 y se encuentra a profundidades entre los 750 a 950 metros, con un volumen relativo de 6%; y el agua Profunda del Atlántico Norte (APAN), con temperaturas de 1.5 a 4 °C, salinidades de 34.8 a 35 ups, y que se encuentra desde los 950 metros hasta el fondo marino, esta masa de agua es la más abundante con un volumen relativo del 73%. La zona de mezcla se considera con un volumen relativo del 4%, con un rango de temperaturas y salinidades con componente estacional debido a los efectos de intercambio de masa y energía. (Gallegos A. y Czitrom S. 1997) . El volumen de estudio está delimitado en su superficie por la ZEE y en su profundidad por la batimetría y se estimó obteniendo las profundidades promedio de las tres zonas anteriormente mencionadas. El volumen obtenido fue del orden de 274 000 km³.

4

Las manifestaciones energéticas del agua de mar son: energía interna debida a la capacidad térmica [$\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$] del agua de mar (Ec. 1); La potencial debido a la altura con referencia al nivel medio del mar, en olas y mareas o columna osmótica (Ec 2). La energía cinética debido a la velocidad de una masa de agua (Ec 3). Y, la ecuación de Van't Hoff que relaciona la presión osmótica que genera una columna de altura h que se compensa con la presión hidrostática (Ec 4) para luego liberarse en energía cinética por medio de la ecuación 3.

$$E_I = \rho \cdot V \cdot c_o \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$E_p = \rho \cdot g \cdot z \quad (2)$$

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot v^2 \quad (3)$$

$$\Pi_{osmótica} = 2 \cdot c_{NaCl} \cdot R \cdot T$$

3. Resultados.

Mareas R&F. Con los valores reportados para las estaciones mareográficas de Isla Mujeres, Cozumel y Mahahual por la SEMAR (2012)⁷ y los valores obtenidos del estado del arte (resumidos en la tabla 1) se descarta una planta mareomotriz R&F para la costa mexicana del Mar Caribe.

Corrientes marinas. La corriente de Yucatán atraviesa el Mar Caribe y sale por el Canal de Yucatán, tema abordado en el Proyecto Kanek 1996-2001, de donde se han publicado una serie de artículos sobre la Circulación en el Mar Caribe Mexicano y su interacción con el Golfo de México. El promedio total de transporte que pasa por el canal, es de 22.8 ± 1 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) de los cuales un cuarto pasan por el Canal de Cozumel. Los valores de velocidades cambian de acuerdo al autor y el año de publicación sin embargo en promedio están en torno a $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. El potencial energético promedio mensual a las profundidades de superficie a 40 metros es de 500 MW_e . Sin embargo este valor sería sin restricción de distancia a la costa. Aplicando el criterio de OTEC de una distancia máxima a 10 km, el potencial se reduce a significativamente a 300 MW_e siendo el canal de Cozumel el lugar más idóneo. De acuerdo a la Fig. 2 y a Julio Sheinbaum *et al* (2001) las mayores velocidades dentro de los 10 kilómetros a la costa quedarían dentro del Canal de Cozumel y por su costa oriental.

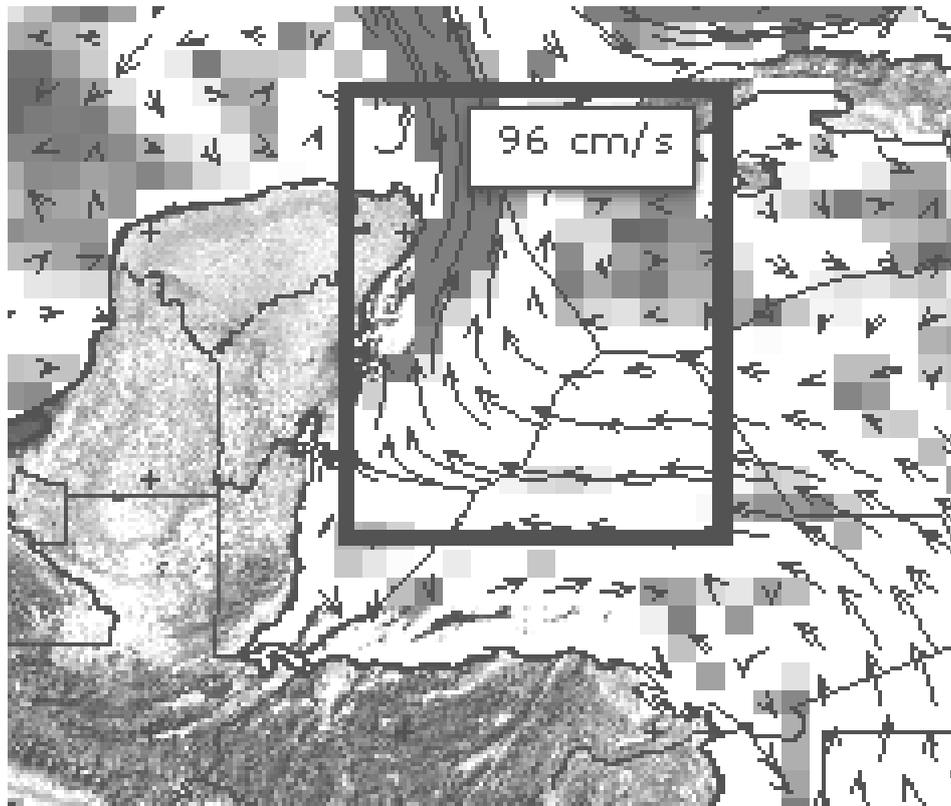


Figura 2. La corriente de Yucatán en el recuadro la zona oscura representa velocidades mayores^f.

^f Fuente: Atlas Climático Digital de México 2.0 Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM.

Olas o undimotriz. El oleaje en la costa del Caribe Mexicano es de baja energía aun antes de la barrera arrecifal, de acuerdo al Anexo II de IEA OES⁹ (2003) los mapas de flujo de energía global el rango se encuentra entre 5 y 10 kW·m⁻¹. Actualmente en México se cuenta con información sobre oleaje en las costas mexicanas por medio de pronósticos diarios desarrollados en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM por el Grupo Interacción Océano – Atmósfera (Fig. 3). Lo anterior aunado a la cantidad de costas resulta un potencial inicial estimado de 1 000 MW_e, con un factor de planta de 0.8, y eficiencia del sistema de 25%.

Tabla 1. Sumario de parámetros técnicos del estado del arte de cada categoría y los parámetros obtenidos para el área de estudio.

⁹ International Energy Agency-Ocean Energy Systems.

Comparativa de parámetros técnicos de cada categoría de conversión energética con los parámetros del Mar						
Tecnología	Parámetro	Unidades	Estado del arte	Caribe de México	Posibilidad técnica Caribe	Referencias Caribe de México
			Cantidad	Cantidad	si/no/posible	
R&F- mareomotriz	Rango promedio de marea	m	6,1	0,185	no	SEMAR 2008
	Rango promedio mínimo de marea	m	3,9	0,046		
	Rango promedio máximo de marea	m	11	0,317		
	Relación Potencia-área turbina generador a $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{MW}_e\cdot\text{m}^2$	0,445	na		
	Planta de mayor capacidad instalada	MW_e	254	na		
	Segunda planta mayor capacidad (La Rance Francia 1966; $h_{\text{prom}}=8.5 \text{ m}$)	MW_e	240	na		
Corrientes de marea- tide stream corrientes marinas	Velocidad promedio de corrientes a profundidades no mayor a 40 metros	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	2,8	≈ 1.5	Posible	A. Badán et al (2004)
	Velocidad máxima promedio de corrientes a profundidades no mayor a 40 metros	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	3,3	≈ 1		
	Velocidad mínima promedio de corrientes a profundidades no mayor a 40 metros	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	2,5	≈ 0.5		
	Área para generar 1 MW_e a $2.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	m^2	300	na		
	Relación de concentración en área tobera-área turbina	Adim.	2	ma		
Olas- Undimotriz	Profundidad promedio de operación no continentales	m	30	na	Si	
	Profundidad mínima de operación no continentales	m	25	na		
	Profundidad máxima de operación no continentales	m	50	na		
	Densidad energética red interconectada (Pelamis Wave Power Ltd)	$\text{MW}\cdot\text{km}^{-2}$	30	na		
	Rango de altura significativa (Hs) de operación.	m	0.75 - 7.25	1.4- 1.9		
	Rango de periodo de energía (T_e) de operación son de 5.5 s a 15.5 s.	s	5.5 - 15.5	5- 5.8		
	El rango de operación de los dispositivos estudiados es de 5 a más de 60 kW/m.	$\text{kW}\cdot\text{m}^{-1}$	5 a 60	na		
Gradiente térmico- maremotermica- OTEC	El gradiente térmico promedio es de $\Delta T_{\text{ideal}} = (T_{\text{superficie}} - T_{\text{fondo}})$	$^{\circ}\text{C}$	24	23	Si	Gallegos A. y Czitrom S. 1997
	El gradiente térmico mínimo utilizado	$^{\circ}\text{C}$	13,5	21,9		
	Consumo agua de fondo a 2°C por	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	2	na		
	Consumo agua superficial a 24°C por	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-2}$	4	na		
	Rango de profundidad de extracción agua fría	m	500-1000	700		
	Distancia máxima de la costa de la fuente de agua fría L. Vega (1999)	km	10	10		
Gradiente salino- Energía azul	Flujo de agua por 1 MW , a 35 ups con eficiencia total de 0.5	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	1	1,7	Posible	Álvarez Legorreta (2007)
	Rango de conversión de las membranas	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	4 a 6	na		
	Gradiente salino promedio	ups	35	19,1		
	Altura alcanzada de columna de agua hidrostática teórica	m	243	136		

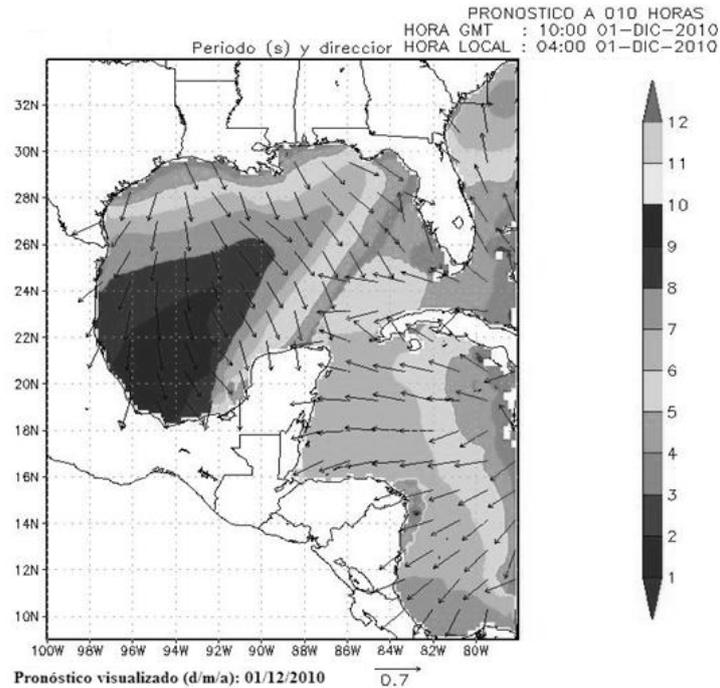


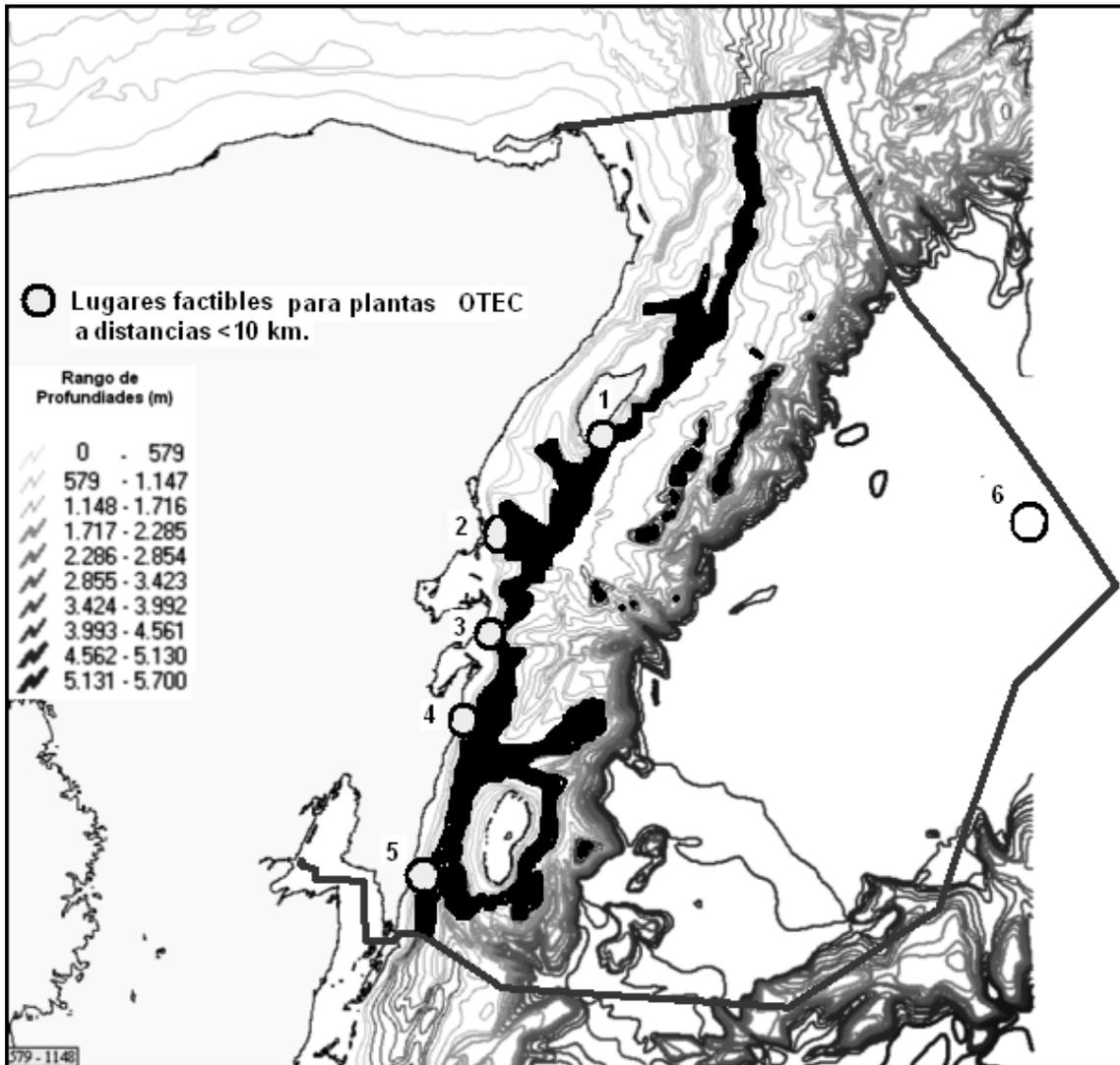
Figura 3. Pronóstico de periodo^h T , la parte oscura está en l rango de 8 a 10 segundos, para las costas del Caribe de México está entre 6 y 7 segundos.

Gradiente térmico. La distribución espacial típica de la temperatura del agua superficial tiene una componente estacional que varía en un rango promedio de 2.6 °C, siendo la temperatura máxima promedio en el mes de septiembre de 28.5 °C. Y la mínima de 26 °C. En febrero. Latitudinalmente las temperaturas para verano son de 29.2°C. En invierno se definen dos zonas con las isotermas de 26.6°C en el sur y 25.8°C en el Canal de Yucatán. En aguas poco profundas la componente estacional deja de ser importantes para este estudio desde los 100 metros donde el rango de variación anual es menor a 0.5 °C. La obtención del potencial del gradiente térmico se resolvió con información previa de perfiles de temperatura (Tabla 2) con respecto a la profundidad, así como diagramas T-S de diferentes fuentes (*Op cit* Gallegos A. y Czitrom S. 1997).

Tabla 2. Variabilidad del gradiente de temperatura del Mar Caribe.

Temperatura superficial del Mar Caribe, en °C.											
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
26,3	25,9	26,1	26,6	27,2	27,5	27,8	28,2	28,5	28,2	27,9	27,1
Temperatura de fondo 750-950 metros del Mar Caribe, en °C.											
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Gradiente de temperatura promedio mensual en °C. (ΔT) del Mar Caribe.											
22,3	21,9	22,1	22,6	23,2	23,5	23,8	24,2	24,5	24,2	23,9	23,1
Colón (1963) en Gallegos A. y Czitrom S. (1997)											

^h Imagen de: Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM por el Grupo Interacción Océano – Atmósfera



9

Figura 4. Lugares OTEC en el Caribe de México. Los de mayor potencial en orden de importancia son 1 Cozumel, 4 Mahahual, 5 Xcalak, 2 Punta Allen, 3 Sian Ka'an y 6 OTEC aguas profundas producción de amonio, hidrógeno ó etanol.

En la figura 4 se aprecian las isóbatas desde 579 a 1 147 metros (sombreado en negro) lugares propicios con gradiente de temperatura mayor a los 20°C y con distancias a la costa menores a los 10 kilómetros, con excepción de la marca número 6, que es un caso hipotético de producción de amonio, hidrógeno ó etanol. Sin la restricción de distancia a la costa y con el gradiente mayor a 20 °C y en profundidades mayores a 700 metros y menores a 1000 metros se tendría un potencial bruto estimado de alrededor de 30 000 MW y una producción de energía con un factor de planta de 0.8 de 210 TWh-año. Con la restricción de distancia menor a 10 kilómetros el potencial disminuye ya que el punto 6 no se considera al igual que el 3 que pertenece a la Reserva de Sian Ka'an quedando un potencial estimado de 1 600 MW y una producción teórica de 11 TWh-año con 0.8 de factor de planta.

Gradiente salino. La interface del Río Hondo y la Bahía de Chetumal es un lugar potencial para probar la energía azul, así llamada también en la bibliografía. A parte de la información histórica disponible de salinidad y la temperatura se utilizaron diferentes procedimientos listados en Robert G. Wetzel, Gene E. Likens (2000) para la estimación del caudal del RH, dada la escasa información, así como el SIATL Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas, INEGI 2010, entre otras fuentes.

Tabla 3. Potencial energético osmótico Río Hondo –Bahía de Chetumal.

Variables temporales para el cálculo del potencial energético anual del Río Hondo (GWh-año)													
Variable	unidades	mes del año											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
temporada		nortes		secas			lluvias					nortes	
caudal	$m^3 \cdot s^{-1}$	128	128	20	20	20	78	78	78	78	78	128	128
salinidad	ups	13,5	13,5	20	20	20	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	13,5	13,5
temperatura Bahía de Chetumal	$^{\circ}C$	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6
precipitación	mm	60	30	30	30	100	200	180	150	190	160	80	60
Altura h	m	110,5	110,5	170	170	170	102	102	102	102	102	110,5	110,5
potencia neta promedio	MW_e	69,4	69,4	16,7	16,7	16,7	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	69,4	69,4
nº días	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
producción de energía mensual	MW_{h-mes}	51616	46621	12408	12007	12408	28097	29034	29034	28097	29034	49951	51616
producción de energía anual	$GW_{h-año}$	380											

10

En la tabla 3 se muestra el potencial por mes en MWh-mes y GWh-año, de acuerdo a las estimaciones de caudal, y los valores de salinidad estacionales.

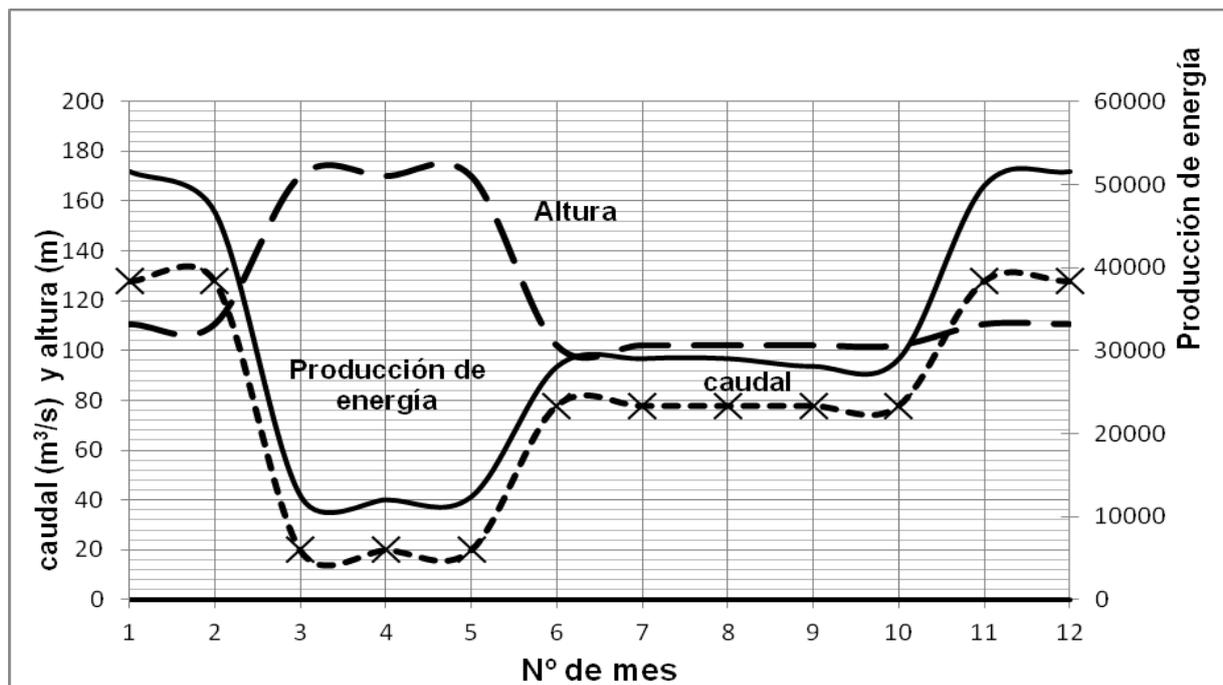


Figura 5. Producción de energía eléctrica por gradiente salino, (MWh).

En la fig. 5 se describe el caudal de acuerdo a datos históricos por mes del RH de diferentes autores, (la curva ha sido suavizada), la altura de la columna de agua teórica causada por el gradiente salino de acuerdo a la Ley de Van't Hoff. Se aprecia que la producción de energía está directamente proporcional al caudal durante todo el año y es inversamente proporcional en la temporada de secas. En la tabla 3 se presenta la producción mensual y anual de energía con una eficiencia total turbina-acople mecánico y generador de 0.5 y factor de planta teórico de 1. En total la producción de energía anual sería de 380 GWh.

4. Conclusiones.

Se tiene amplias posibilidades de explotación comercial las categorías de: gradiente térmico en profundidades mayores a 800 metros y menores a 1000 metros; así como en olas. Posibilidades con corrientes oceánicas; y posibilidades con gradiente salino en la interface del Río Hondo con la Bahía de Chetumal. Se descarta la energía mareomotriz por presentar bajos rangos de marea. En conclusión la costa mexicana del Mar Caribe cuenta con recursos energéticos renovables técnicamente disponibles y que suman alrededor de 4 000 MW_e, que tendrán que ser reevaluados desde el punto de vista ambiental, técnico y financiero. No todo el potencial energético podrá ser extraído pero la presente información permite tener un marco de referencia y orientar cuales serían las tecnologías más pertinentes de desarrollar para el Caribe Mexicano. Por lo cual, sería conveniente seguir explorando el potencial energético de nuestras costas lo que permitiría tener alternativas a los y seguir desarrollando las actividades productivas de México de forma *más* sustentable.

11

Referencias.

1. 2006 Policy Report, International Energy Agency Implementing Agreement on Ocean Energy Systems (IEA-OES).
2. Estrategia Nacional de Energía. Secretaría de Energía (SENER) México febrero 2011.
3. El Mapa Digital de México V 5.0 (2011) Instituto Nacional de geografía y Estadística (INEGI) por: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/>
4. Carrillo Laura, Palacios Hernández Emilio, Yescas Mario, Ramírez Manguilar Ana M. (2009) Spatial and Seasonal Patterns of Salinity in a Large and Shallow Tropical Estuary of the Western Caribbean. *Estuaries and Coasts* 32:906–916 DOI 10.1007/s12237-009-9196-2
5. Sánchez, Alberto et al (2008) Distribución de parámetros texturales de los sedimentos superficiales en la Bahía de Chetumal: Implicaciones en la inferencia de transporte. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 25, núm. 3, 2008, p. 523-532, México.
6. Gallegos, A. y Czitrom, S. (1997). Aspectos de la oceanografía física regional del Mar Caribe, en: M.F: Lavin, editor, *Contribuciones a la Oceanografía física de México*, Monografía N° 3, Unión Geofísica Mexicana, p. 225-242.
7. Secretaría de Marina, portal....
- 8 Julio Sheinbaum, Julio Candela, Antonio Badán, José Luis Ochoa y Roberto Iglesias (2001). Estudio de la Circulación en el Caribe Mexicano. Protocolo de proyecto de grupo DG/2001-575
9. IEA OES 2003. Ocean Energy Systems Annex II Report 2003. Implementing Agreement on Ocean Energy Systems.