

Apuntes sobre la energía del mar

**Proyecto “Hacia la Descarbonización Profunda en Argentina”,
en el marco del proyecto global “Trayectorias de Descarbonización Profunda” (DDPP) del
Instituto para el Desarrollo Sostenible y las Relaciones Internacionales (IDDR) y la Red
de Soluciones de Desarrollo Sostenible (SDSN)**

Documento de Trabajo 09

Ángel Gutman
Diciembre 2017

Potencial energético de los mares y océanos

Estudios realizados por la Agencia Internacional de la Energía-Ocean Energy System demuestran que el potencial energético de los mares y océanos es del orden de 100.000 TWh anuales (dato de 2006).

Por otra parte, los actuales conocimientos científicos y tecnológicos indican que la energía del mar se manifiesta bajo cinco formas: oleaje, mareas, corrientes marinas, gradiente térmico y gradiente salino. La energía de los vientos oceánicos se considera una forma de energía eólica.

Un desglose aproximado, por sus formas, del potencial energético mundial muestra que las reservas renovables serían del orden de:

- ✓ Energía mareomotriz: 300 TWh/año
- ✓ Energía de las corrientes marinas: 800 TWh/año
- ✓ Energía undimotriz (de las olas): 80.000 TWh/año
- ✓ Energía de gradiente térmico (OTEC): 10.000 TWh/año
- ✓ Energía de gradiente salino: 2.000 TWh/año

También se está investigando el potencial energético de la biomasa compuesta por macroalgas marinas.

A pesar del enorme potencial energético disponible, la participación de las energías del mar en la matriz energética mundial es aún incipiente. Y en la Argentina, inexistente.

Las tecnologías utilizadas para transformar la energía del mar en energía eléctrica son muy variadas y se encuentran en diferentes estadios de maduración y explotación comercial.

En el orden económico, con la tecnología disponible actualmente, el kWh generado a partir de la energía del mar es más costoso que el producido por otras energías renovables, tales como la solar fotovoltaica o la eólica.

No obstante, es previsible que las investigaciones y los desarrollos tecnológicos que se realizan en los países avanzados (y también en algunos países emergentes) arrojen como resultado que en los próximos años disminuyan los costos de instalación y aumente la eficiencia de los dispositivos, razones por las cuales el aprovechamiento de la energía del mar será competitiva frente a otras energías renovables.

Argentina posee 5.120 km de costas sobre el Atlántico Sur y 4.800.000 km² de aguas bajo jurisdicción nacional, hasta las 200 millas, como así también numerosos ríos que desaguan en el mar. Esta excepcional situación hidrográfica justifica incentivar la investigación y experimentación de tecnologías orientadas al aprovechamiento de la energía del Mar Argentino.

Tecnologías utilizadas y experiencias internacionales en la explotación de la energía del mar

De las cinco formas de energía del mar mencionadas, dos de ellas -la energía de gradiente térmico y la energía de gradiente salino- se encuentran en fase de laboratorio, mientras que de las otras tres -energía mareomotriz, energía undimotriz y energía de corrientes marinas- ya existen en diversas partes del mundo centrales eléctricas piloto y, en algunos casos, en servicio.

a. Energía mareomotriz

Las mareas son movimientos regulares y previsibles de agua marina, producidos por la atracción gravitatoria de la luna y el sol sobre las masas de agua de los mares y océanos.

Cada doce horas y veinticinco minutos se produce una marea alta o pleamar, seguida por una marea baja o bajamar. La cantidad de energía mareomotriz que puede transformarse en energía eléctrica es directamente proporcional a la amplitud de las mareas.

Si bien las mareas son un fenómeno físico común a las costas de todo el planeta, hay regiones donde la amplitud alcanza niveles extraordinarios, a causa de los accidentes geográficos de la zona y a la mayor o menor fricción sobre el lecho marino, y por ende son

sitios muy propicios para instalar centrales mareomotrices. Una de las zonas de mareas de mayor amplitud es Puerto Gallegos, en la provincia de Santa Cruz, con una media de mareas de nueve metros.

Para transformar la energía mareomotriz en energía eléctrica se emplean “represas de marea”, cuyo principio de funcionamiento es similar al sistema utilizado en las centrales hidroeléctricas: sobre el estuario o bahía se construye una represa de orilla a orilla. Durante la marea alta se llena el embalse. En bajamar se libera y encausa el agua retenida a través de túneles. Dentro de los túneles, el torrente de agua impele las paletas de una turbina y éstas accionan un alternador que genera electricidad.

La diferencia entre las centrales hidroeléctricas y las centrales mareomotrices con represa de marea estriba en lo siguiente. Los diques sobre ríos caudalosos se construyen de gran altura, con el propósito de aumentar el volumen de agua retenida a lo ancho del río. Por el contrario, en las represas erigidas sobre estuarios marinos la altura está determinada por el nivel máximo que pueda alcanzar la marea, ya que una altura mayor no se podría aprovechar.

A fin de almacenar un mayor volumen de agua, las represas de marea se construyen a lo ancho de varios cientos de metros. Al tener menos altura que un embalse de río, el agua sale con menor velocidad, pero se compensa por el mayor ancho del embalse, lo cual permite instalar un número mayor de turbinas. Para que sean económicamente rentables, las centrales eléctricas mareomotrices con represa de mar deben instalarse en lugares donde la diferencia entre pleamar y bajamar sea superior a cinco metros.

La primera central mareomotriz del mundo se puso en marcha en 1967 en La Rance, Francia. La represa tiene un largo de 750 metros, la cuenca hidrográfica es de 22 km² y la amplitud de marea promedio es de 10 metros. La central, operada por Electricité de France, está equipada con 24 turbinas tipo Bulbo de 10 MW cada una, que generan en conjunto 540 GWh anuales. Abastece a unos 130.000 hogares de la región de Bretaña y, como co-beneficio, el ancho de la represa permitió construir sobre ella una ruta de dos carriles.

La central eléctrica mareomotriz de mayor potencia del mundo se encuentra en Sihwa Lake, Corea del Sur. Se inauguró en 2011 y la propietaria es la Corporación de Recursos Hídricos de Corea. Se aprovechó un malecón de 12,5 km de largo, ya existente para evitar inundaciones, y se instaló una planta de generación eléctrica de 10 turbinas tipo Bulbo de 25,4 MW. La central mareomotriz de Sihwa Lake tiene una capacidad anual de generación de 553 GWh.

En la cuenca del Río Annapolis, Bahía de Fundy - Canadá, funciona desde 1984 la planta de energía mareomotriz Annapolis Royal, operada por Nova Scotia Power. En este

emplazamiento se construyó un dique de 47 metros de longitud y 30 metros de altura. La amplitud máxima de mareas alcanza los 15 metros y se instalaron turbinas tipo Straflo de 18 MW, que producen 50 GWh anuales, cubriendo las necesidades energéticas de 4.000 hogares.

Para el aprovechamiento de la energía mareomotriz se dispone de la tecnología más madura, mejor conocida y más desarrollada de las energías del mar, por lo cual están en curso varios otros proyectos como la central Tidal Lagoon, Inglaterra; Mey Gen, Escocia o Jiangxia, China.

b. Energía undimotriz

Las olas son oscilaciones periódicas de la superficie del mar, conformadas por crestas y depresiones del agua, que se originan por la fricción del viento sobre la superficie del agua.

La energía cinética del mar se desplaza grandes distancias a través de las olas, con muy poca disipación y el recorrido finaliza chocando sobre las costas. Las partículas de agua que forman las olas se mueven describiendo círculos, por lo que la ola transporta energía tanto en la superficie como en la profundidad marina. Además de las olas superficiales, existen “olas subacuáticas”, que también pueden ser aprovechadas.

En comparación con la energía eólica, la energía solar o incluso la energía mareomotriz, la energía undimotriz se encuentra en las primeras etapas de investigación y desarrollo.

Científicos e ingenieros de diversas partes del mundo están experimentando con una amplia variedad de ingeniosos dispositivos capaces de transformar la energía cinética de las olas en energía eléctrica. La gran cantidad de dispositivos en ensayo son el resultado de las diferentes formas con las que se puede absorber y transformar en electricidad la energía presente en las olas.

Todos los dispositivos experimentados hasta ahora funcionan en base a alguno de estos dos principios de funcionamiento: la energía de las olas “empuja” un fluido que presuriza un sistema hidráulico, que a su vez mueve un alternador, o bien la fuerza del agua acciona directamente la turbina del alternador.

Cada dispositivo está diseñado en función de la profundidad y la distancia a la costa. Algunos de ellos son fijos al lecho del mar y otros, flotantes.

Los dispositivos fijos se instalan sobre la línea costera, en la rompiente de las olas. El mantenimiento es más sencillo que en los dispositivos flotantes, pero la cantidad de lugares apropiados para instalar dispositivos fijos está limitada por la geografía.

Simplificando, podemos clasificar los dispositivos de captura y transformación de la energía undimotriz en cuatro tipos de tecnologías:

1. Sistemas de columna de agua oscilante.
2. Dispositivos flotantes amarrados. Los más difundidos son Wave Roller, Power Buoy, Archimedes Wave Swing y CETO.
3. Dispositivos móviles articulados. Los más difundidos son Pelamis y Salter Duck.
4. Colectores de olas. Los más difundidos son Tapchan y Wave Dragon.

A diferencia de las mareas, el oleaje no es predecible. Esto significa que la disponibilidad de energía undimotriz, al igual que la energía solar y la energía eólica, está supeditada a las condiciones climáticas.

Como en otras formas de energía renovable, la distribución de la energía undimotriz no es uniforme en todo el planeta. La energía contenida en las olas varía de un sitio a otro, ya que depende de factores tales como los accidentes geográficos de la costa y la profundidad del lugar de impacto.

Las costas que registran mayor actividad de oleaje están situadas entre los 30° y los 60° en ambas latitudes, la norte y la sur, regiones donde prevalecen los vientos del oeste.

En la Argentina, las zonas de mayor oleaje se encuentran al sur, en la costa norte de la Isla Grande de Tierra del Fuego y al sur de Puerto Deseado. También sería utilizable el oleaje de los estuarios de Bahía Blanca, Golfo San Matías, Golfo San Jorge y al sur del Puerto de San Julián. Se estima que la energía promedio de las costas oceánicas argentinas está entre 30 a 100 KWh por metro lineal de ola.

Si bien hay una enorme cantidad de dispositivos que transforman la energía de las olas en energía eléctrica (a nivel mundial se contabiliza una centena de patentes), hoy en día las centrales undimotrices a escala comercial son pocas. Podemos mencionar a las centrales de Aguçadoura, en Portugal; Mutriku, en España; Islay, en Escocia o Perth, en Australia Occidental.

La primera central undimotriz en servicio fue la de Aguçadoura, en el año 2007, utilizando tecnología Pelamis, con una potencia total de 2,25 MW y que abastecía a 1.500 hogares.

La central undimotriz de Mutriku fue inaugurada en 2011. Utiliza la tecnología de columna de agua oscilante y está equipada con 16 cámaras de captura. En cada una de ellas hay un turbogenerador tipo Wells. La potencia total de la planta es de 300 kW y la producción anual es de 600.000 kWh. La altura media de las olas en la costa cantábrica es menor a 2 metros, con un período de 8 a 12 segundos.

En la isla de Islay, Escocia se instaló en 2000 una central mareomotriz con tecnología columna de agua oscilante, con una potencia pico de 500 kW.

En Australia Occidental, en Perth, finalizó en 2014 la primera etapa del proyecto Carnegie Wave Energy con tecnología CETO (plantación de boyas en el fondo marino). Actualmente funciona con una capacidad instalada de 2 MW y suministra energía eléctrica a la base naval HMAS Stirling, localizada en la Isla Jardín.

En América del Sur, Brasil instaló en 2013, a modo de prueba, en el puerto de Pecem, estado de Ceará, una planta undimotriz que trabaja con un sistema de boyas amarradas, cuyo movimiento oscilatorio presuriza una turbina Pelton.

c. Energía de las corrientes marinas

Las corrientes marinas son movimientos de masas de aguas oceánicas con desplazamientos en determinadas direcciones. Pueden considerarse como ríos surcando el océano y son producto de la acción del viento y de las diferencias de densidad entre dos cursos de agua (determinada, a su vez, por diferencias de salinidad o temperatura).

En las costas argentinas se presentan dos corrientes marinas: una corriente cálida del Brasil, que llega hasta los 39° de latitud Sur, y una corriente fría de las Malvinas, que es una prolongación de la corriente Circumpolar Antártica.

La tecnología de captación y transformación de la energía de las corrientes marinas en energía eléctrica es similar a la utilizada en energía eólica. Los dispositivos se componen de paletas que son impulsadas por la corriente marina, una caja de engranajes que reduce la velocidad y un alternador que genera la electricidad. Estas tres partes están montadas sobre una estructura soporte y se amarran al lecho marino a diferentes profundidades. Como alternativa a la fijación del generador en el lecho del océano, se utilizan barcazas de fondo plano a las que se les adosa una turbina horizontal invertida que se fija a un soporte vertical montado en la superficie de la barcaza.

Otra técnica constructiva en desarrollo es colocar generadores en conductos que no bloquen el flujo de la corriente marina pero que dirijan el agua hacia las turbinas.

La eficiencia en la transformación de la energía cinética de la corriente marina a energía mecánica que mueve la turbina es función del diámetro de las palas, la densidad del agua y el cubo de la velocidad de la corriente marina. Como la densidad del agua es 850 veces mayor que la del aire, aunque la velocidad de la corriente marina es menor que la del viento, resulta que la potencia eléctrica que se obtiene por unidad de área barrida por la paleta es mayor que la que se obtendría con un aerogenerador del mismo diámetro.

A nivel internacional se está ensayando con diversos tipos de turbinas y disposiciones de instalación. En Europa, Canadá y EE.UU. ya están en marcha algunos proyectos piloto para la explotación comercial de la energía de las corrientes marinas.

d. Energía de gradiente térmico

Es un fenómeno termodinámico conocido la posibilidad de transformar en energía mecánica el calor transferido desde una fuente térmica caliente a una fuente más fría. A partir de la diferencia de temperatura entre la superficie y las profundidades del mar se puede obtener electricidad, utilizando la llamada “energía termo-oceánica”.

Para aprovechar esta energía es necesaria, al menos, una diferencia de temperatura de 20°C y esta condición se encuentra, principalmente, entre los 40° de latitud sur y 40° de latitud norte (la línea del ecuador y la regiones subtropicales) y a profundidades entre 400 a 1000 metros.

Básicamente, una planta de conversión de energía térmica oceánica utiliza un foco caliente -el agua de la superficie- para calentar un fluido de bajo punto de ebullición y con el vapor producido empujar la turbina de un alternador. Luego, en un foco frío -el agua de las profundidades oceánicas- se condensa el fluido, que vuelve al estado líquido.

Existen dos sistemas de conversión: de ciclo cerrado y de ciclo abierto (el agua es devuelta al océano).

Los esfuerzos de investigación están orientados a mejorar la eficiencia de los intercambiadores de calor, que representan 1/3 del costo total de la planta, los cuales deberán tener bajo precio y gran resistencia a la corrosión.

Con la tecnología actual, las plantas termo-oceánicas demandan inversiones altas (entre US\$ 7.000 a US\$ 15.000 por kilowatt instalado) y tienen un bajo rendimiento en comparación con las centrales térmicas, lo que hace que aún estén en fase de investigación. No obstante, tienen potencial de crecimiento debido a que constituyen un sistema de generación eléctrica con capacidad de funcionamiento continuo, día y noche y en toda época del año.

Japón y EE.UU. son dos de los países que más avanzaron en el desarrollo de la tecnología termo-oceánica y en la instalación de plantas piloto.

e. Energía de gradiente salino

Al tomar contacto el agua dulce con el agua salada se produce un fenómeno natural que libera energía, conocido como “ósmosis”. Esta forma de energía también se la denomina “energía osmótica” o “energía azul”.

Están en curso desarrollos tecnológicos con el fin de extraer energía del gradiente de salinidad existente en la desembocadura de los ríos al mar, aprovechando la diferente concentración de sal entre el agua marina y el agua de río.

El principio de funcionamiento de una planta de energía osmótica es alimentar en forma continua, con agua dulce y agua de mar, dos cámaras separadas por una membrana. La sal del agua marina hace que el agua dulce atraviese la membrana, generando un incremento de la presión en el lado del agua de mar. Se estima que dicha presión es equivalente a una columna de agua de 120 metros, similar a un salto de agua de grandes dimensiones, y por lo tanto puede utilizarse en una turbina para generar electricidad. Al contrario que otras energías renovables, como la solar o la eólica, la energía osmótica no se vería afectada por fluctuaciones climáticas y produciría electricidad de forma continua y predecible.

En el presente, los laboratorios de investigación trabajan sobre dos métodos para producir electricidad a partir del gradiente salino: PRO (Pressure Retarded Osmosis), un proceso de ósmosis simple, y RED (Reversed Electro Dialysis), que utiliza intercambio iónico entre agua dulce y agua salada. En ambas tecnologías el elemento clave es la membrana separadora, por lo cual el diseño de las mismas es el mayor de los desafíos para las empresas que llevan adelante estos desarrollos. Actualmente, se trabaja con densidades energéticas del orden de 5 W/m², aunque se considera que es posible alcanzar los 10 W/m².

Chile

Resulta de interés geopolítico observar los esfuerzos que está realizando Chile para desarrollar la energía del mar presente en sus costas, ya que, al igual que Argentina, tiene carencias científicas, tecnológicas y financieras para avanzar de manera autónoma en la explotación de los recursos energéticos del mar.

En junio de 2015 Chile y Francia suscribieron un acuerdo de cooperación para la instalación, en Chile, de un centro de investigación y desarrollo de la energía del mar, por el cual se creó el MERIC¹ (Marine Energy Research and Innovation Center).

El MERIC tiene un programa de investigaciones de ocho años (2015 al 2023) sobre los potenciales sitios de captura de energía marina y de las características físicas, químicas,

¹<http://www.meric.cl/>

biológicas y sociales del entorno. También realizan estudios de adaptación de tecnología y está previsto para 2019 un banco de pruebas de validación (VTB) de 10 kW a 500kW.

Para profundizar las investigaciones y compartir experiencias sobre energía marina, el MERIC suscribió acuerdos de confidencialidad con instituciones de investigación de Chile, Estados Unidos y Francia y se apresta a hacerlo con entidades de Brasil, Escocia y Finlandia.

Este centro de investigación tendrá un costo aproximado de 17 M US\$, de los cuales la Subsecretaría de Energía, a través de la Corporación de Fomento, aportará cerca del 53 %, en un período de ocho años.

Argentina

Las actividades argentinas en el campo de la energía del mar se limitan a una decena de iniciativas de estudios o construcción de prototipos por parte de algunas universidades o instituciones públicas, como por ejemplo:

- ✓ Estudio de recurso energético marino en la Patagonia Austral- Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Río Gallegos;
- ✓ Aprovechamiento del estuario de Bahía Blanca-Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Bahía Blanca;
- ✓ Prototipo de Columna de Agua Oscilante- Universidad Nacional de La Plata;
- ✓ Prototipo de turbina hidrocínética para aprovechamiento de las corrientes marinas-INVAP;
- ✓ Prototipo de captador de energía undimotriz basado en boyas flotantes- Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Buenos Aires.

A estas iniciativas hay que agregar algunas propuestas de particulares para la construcción de dispositivos captadores de energía de las olas, presentadas a nivel de prototipo de laboratorio.

Conclusiones

Los mares y océanos del planeta poseen enormes recursos energéticos, suficientes para abastecer el consumo global actual, pero la tecnología para aprovechar esta energía está transitando las primeras etapas de desarrollo y se desconoce el impacto real a largo plazo que una explotación masiva podría tener sobre la flora y fauna marina.

Argentina, por la extensión de sus costas y la ubicación geográfica sobre el Atlántico Sur, es uno de los países del mundo con más alto potencial energético marino.

La investigación y desarrollo de tecnologías para la explotación comercial sostenible de la energía del mar requiere de “expertise” científico y tecnológico, como así también de alta inversión de capital.

Argentina tiene un buen nivel de científicos y expertos en el tema, y ya hubo iniciativas aisladas de investigación del potencial energético marino, pero se carece de una política nacional de investigación, desarrollo y explotación de la energía del Mar Argentino que guíe y articule los esfuerzos individuales.

Nuestro país tiene para ofrecer una alta potencialidad energética, centros de investigación públicos y privados y recursos humanos de nivel, motivos por los cuales la estrategia de Descarbonización Profunda al 2050 que establezca Argentina sería un marco adecuado para la búsqueda de acuerdos de cooperación internacional para la investigación, desarrollo y explotación **sostenible** de los recursos energéticos marinos.

Referencias

Catálogo Energías del Mar 2014- Grupo de Interés en Energías del Mar Argentino (GEMA),
Noviembre 2014

Energías del Mar-Documento de Referencia, Dr. Jaime Moragues-Ministerio de Ciencia,
Tecnología e Innovación Productiva