

ENERGIAS MARINAS

Walter Dragani^{1,2}, Carlos Tedesco³, Nicolás Tomazin⁴, Gustavo Seisdedos⁵, Marcelo Veneziano⁶, Ana J. Lifschitz⁷ & Francisco Galia⁷

¹ Servicio de Hidrografía Naval – Ministerio de Defensa- ²CONICET / Universidad Buenos Aires; ³Universidad Nacional La Plata; ⁴Instituto Nacional del Agua; ⁵Yacimientos Petrolíferos Fiscales - YTEC; ⁶ Universidad Nacional Mar del Plata; ⁷Universidad Tecnológica Nacional
Coordinador del grupo: Lic. Francisco Galia: forocostero@gmail.com; fgalia@rec.utn.edu.ar

Resumen

Recorriendo el extenso litoral marítimo argentino y considerando las características propias asociadas con fenómenos naturales y diversas singularidades geográficas, se puede definir un escenario potencial para el aprovechamiento energético sustentado tanto en las energías de mareas como en las corrientes asociadas a ellas, la undimotriz (basada en las energías de las olas), la mareogeotérmica, la eólica offshore y la biomasa a base de algas marinas. En este capítulo se aborda el aprovechamiento de las mareas y las corrientes de mareas (energía mareomotriz), y el recurso energético derivado de la acción del oleaje. Se presenta una breve explicación de ambos fenómenos desde un punto de vista físico: fuerza generadora, propagación y decaimiento. A su vez, se presenta una evaluación (valores medidos in situ) del potencial energético, tanto de mareas (altura del nivel del mar y velocidades de corrientes de mareas) como de olas (altura, periodo y dirección del oleaje) sobre el extenso litoral marítimo argentino. Se evalúan y proponen posibles zonas de interés energético basadas en el análisis anterior y sus posibilidades de desarrollo. Finalmente, se presenta un análisis de mercado y de costos de estos dos recursos energéticos renovables.

Palabras claves: recursos energéticos renovables, fenómenos de mareas y oleaje, mar argentino.

Abstract

Marine Energies. Moving along the extended coasts of the Argentine sea and considering both natural phenomena and geographical singularities enables the definition of a potential scenario to use the energy of waves and tides, the offshore geothermal and eolic energies and the energy generated by biomass such as marine algae. This chapter is restricted to the analysis of the energy of tides and their associated currents and that produced by waves. A physical explanation of the driving force, propagation and decay of both phenomena is provided. An evaluation of the energetic potential of tides and waves over the extended Argentine coasts is performed and convenient sites for the employment of this type of marine energies are proposed. Finally, a brief analysis of markets and costs of these energies is presented.

Keywords: renewable energy resources, tides and waves phenomena, Argentine sea.

1. Análisis de los recursos de mareas y olas

1.1. Corrientes de mareas

Las corrientes en el mar pueden ser producidas por el viento (deriva), por gradientes de densidad (termohalina), por las olas ("longshore currents") o por la marea. Esta última está asociada fundamentalmente a la atracción gravitatoria y, por tener una significativa dependencia con las posiciones relativas del Sol y la Luna, es de carácter determinística, o sea, altamente predecible. Por lo tanto, desde el punto de vista de cualquier emprendimiento relacionado con el aprovechamiento energético, las corrientes de marea son las que revisten el mayor interés justamente por su regularidad.

En términos generales las corrientes de marea en las regiones costeras fluyen prácticamente paralelas a la costa y, en consecuencia, la elipse de corrientes durante un ciclo completo de marea tiende a estar representada por un simple segmento. Esto es debido a un fenómeno conocido como rectificación topográfica. A medida que la distancia a la costa aumenta, la rectificación topográfica se hace menos evidente y las corrientes de marea durante su ciclo construyen el clásico patrón elíptico, siendo éste menos excéntrico a medida que la distancia a la costa aumenta.

En el litoral argentino se verifican diariamente dos situaciones de flujo (corrientes con rumbo predominante en la dirección de propagación de la onda de marea) y dos de reflujo (corrientes predominantemente opuestas a la anterior, pero con intensidad parecida - simetría). Entre ambas condiciones (la de flujo y la de reflujo) se observa un período que va desde unos minutos hasta una hora de duración conocido como estoa durante el cual las corrientes son mínimas o prácticamente nulas. Un poco antes de las estoas, las corrientes de marea se debilitan gradualmente en intensidad, para luego comenzar a intensificarse progresivamente hasta alcanzar intensidades máximas con un cambio de rumbo de aproximadamente 180°. Consecuentemente, la corriente de marea presenta una variabilidad temporal cíclica que consiste en la intensificación de la velocidad desde la estoa hasta un valor máximo, el posterior debilitamiento hasta la próxima estoa, el cambio de sentido, un aumento hasta el subsiguiente máximo y, finalmente, una disminución hasta la siguiente estoa. En este sentido, el concepto de corriente de marea media debe ser definido sobre el módulo ya que si se computa sobre el vector corriente arrojaría casi siempre un valor prácticamente nulo. En consecuencia, cualquier dispositivo que se proyecte para el aprovechamiento energético debe considerar la característica bi-direccional de la corriente de marea, a diferencia de las turbinas emplazadas en represas hídricas que funcionan de manera unidireccional. Por otro lado, para que las corrientes de marea sean aprovechables desde el punto de vista energético deben superar 1 m/s durante un gran porcentaje de su ciclo. Debe destacarse que durante un ciclo mensual de marea se verifica situaciones de amplitudes máximas, con máximas intensidades de corrientes (sicigias) y de amplitudes mínimas con intensidades más bajas (cuadratura).

Existen diversas maneras de medir las corrientes en el mar. Hoy en día se utilizan dispositivos basados en sistemas acústicos Doppler o en sistemas electromagnéticos. Aunque estos equipos se venden comercialmente desde hace muchos años nuestro país padece un enorme déficit en el relevamiento de esta variable. Hoy por hoy esta debilidad trata de suplirse con la modelación numérica pero la misma, para que sea confiable, debe ser validada contra mediciones de campo u observaciones *in situ* las cuales, vale enfatizar, son muy escasas. Las mediciones con correntómetros suelen ser altamente confiables pero son de carácter local o puntual. En cambio, los modelos hidrodinámicos pueden cubrir toda la región

de interés pero, si no están estrictamente validados, solo dan un valor cualitativo de las intensidades de las corrientes. En consecuencia, en la práctica debe lidiarse entre observaciones y resultados de modelos. Pero, ante la posibilidad de emprender alguna obra de ingeniería o de aprovechamiento energético, la necesidad de mediciones con instrumental específico es mandatoria.

En las bases de datos del Servicio de Hidrografía Naval (SHN - Ministerio de Defensa) se cuentan con registros de corrientes que datan desde la década del 60-70 hasta la actualidad. Muchos de ellos fueron obtenidos por el propio SHN y otros tantos cedidos por terceros (empresas, petroleras, etc.). A continuación se presenta un análisis sintético de las corrientes a lo largo del litoral argentino, entre la costa y la isobata de 15/20 m, basado fundamentalmente en información de campo disponible en el SHN.

En la zona de Punta Rasa (extremo SW del límite del RDP Exterior) las intensidades de las corrientes de marea pueden alcanzar los 0.40-0.60 m/s. Sin embargo, en la costa atlántica bonaerense, entre Punta Rasa y Monte Hermoso, las corrientes de marea son en general un poco menos intensas (aproximadamente, 0.30 m/s) a excepción de la zona de Punta Médanos donde la presencia de bancos de arena producen la intensificación de la corriente entre estos y la costa. En la zona del estuario/ría de Bahía Blanca las características geográficas del mismo (estrechamiento y baja profundidad) hacen que las corrientes se intensifiquen en su interior pudiendo superar 1 m/s. En la zona costera comprendida entre el estuario de Bahía Blanca y la desembocadura del río Negro no se dispone de mediciones, excepto en las inmediaciones de San Blas, donde la corriente puede superar 1 m/s.

En la desembocadura del río Negro la corriente máxima puede alcanzar 1 m/s. La corriente de marea también puede superar 1 m/s en el centro de la boca del golfo San Matías pero las intensidades se reducen considerablemente hacia su interior, siendo de aproximadamente 0.80 m/s en la zona de Puerto San Antonio y 0.50 m/s en Las Grutas y en Punta Colorada. Las corrientes son muy intensas en la boca del golfo San José pudiendo alcanzar en sicigias casi los 2 m/s. En el interior del golfo San José las corrientes se reducen considerablemente no superando los 0.30 m/s. En el sector oriental de la península Valdés no se dispone de información de corrientes pero dada la relevancia de la zona de escauceos cercana a Punta Norte, donde existen notables bancos y canales paralelos a la costa, se puede inferir que las corrientes de marea costeras podrían ser muy intensas.

Las corrientes en la boca del golfo Nuevo pueden alcanzar 0.80 m/s en condiciones de sicigias, pero las mismas se reducen drásticamente hacia el interior del golfo no superando los 0.20/0.30 m/s. En el sector costero que se extiende entre Punta Ninfas (extremo S de la boca del golfo Nuevo) y Cabo Dos Bahías (extremo N del golfo San Jorge) el SHN no dispone de observaciones de corrientes.

Las corrientes en el golfo San Jorge son relativamente débiles con intensidades máximas en sicigias de 0.20 m/s en Bahía Bustamante, 0.30 m/s en proximidades de Faro Aristizabal, 0.20 m/s en la zona de Bahía Solano, 0.30 m/s en proximidades de Puerto Comodoro Rivadavia y 0.20 m/s en la zona costera de Caleta Olivia y Caleta Paula. En el sector S de la boca del golfo, en proximidades de Faro cabo Blanco, las corrientes son mucho más intensas pudiendo alcanzar en sicigias intensidades de hasta 1.30 m/s.

A lo largo de la costa santacruceña las corrientes son significativamente más intensas que en el resto del litoral atlántico, en sintonía con las mayores amplitudes de la marea. Al S de Puerto Deseado, en Punta Desengaño, la corriente puede alcanzar 0.7 m/s.

Según algunas mediciones cortas y antiguas la corriente en las proximidades de la desembocadura del río Santa Cruz, en plataforma continental cerca de la costa, podría superar los 2.5 m/s, en condiciones de sicigias. Más hacia el S, en la zona exterior a la boca de río Gallegos la corriente es un poco más tenue, alcanzando en sicigias valores que no superan 1.5 m/s. Por razones hidrodinámicas en el interior de las rías/estuarios patagónicos santacruceños (Deseado, San Julián, Santa Cruz, Gallegos) las corrientes se encauzan y, en zonas particulares de estrechamientos las intensidades alcanzadas en sicigias, pueden superar ampliamente las de la plataforma continental interior. Los antecedentes disponibles indican que en los cuatro sitios mencionados las corrientes de marea máximas superan holgadamente 1.50 m/s. En la zona de Punta Quilla la información disponible indica que la corriente puede alcanzar 3.50 m/s, pero este valor debería ser corroborado con mediciones de campo con instrumental adecuado.

En la región costera de la isla de Tierra del Fuego las corrientes de marea también son relativamente intensas. En proximidades de cabo Espíritu Santo y de cabo Nombre las intensidades en sicigias pueden alcanzar 1 m/s. Frente a bahía San Sebastián las corrientes son ligeramente más débiles, con intensidades máximas que pueden alcanzar 0.80 m/s y, en la zona exterior a río Grande, las intensidades pueden alcanzar 0.90 m/s. En el canal Beagle las amplitudes de marea son más bajas que en la plataforma nor-fueguina y eso se ve reflejado en las corrientes de marea. En paso Chico las corrientes son inferiores a 0.30 m/s y en paso Mackinlay no superan 0.50 m/s. En el estrecho de Le Maire los registros históricos indican que las corrientes pueden llegar a 1.80 m/s.

1.2. Olas

Las olas son ondas de gravedad externas generadas por el viento, que se propagan en la superficie del agua, con períodos comprendidos entre 1 s y 30 s y alturas que van desde unos pocos cm hasta varias decenas de metros. Si bien desde el punto de vista estadístico y espectral existe una veintena de parámetros para caracterizarlas, los parámetros básicos y clásicos para definir al oleaje son la altura significativa (H_s : promedio del tercio más alto de las alturas instantáneas de un registro de 20 minutos), el período del pico espectral (T_p : período en el que se concentra la energía espectral) y la dirección predominante (D : expresada en grados, desde donde vienen propagándose las olas. A diferencia de las corrientes de marea (determinísticas) las olas son consideradas como un fenómeno estocástico. Por lo tanto, para caracterizar el clima de olas en una zona costera determinada debería disponerse de varios años de registros *in situ* o de simulaciones numéricas. Dicha descripción debería ser materializada con histogramas bidireccionales H_s - T_p mensuales, estacionales y climatológicos destacando además la estadística de calmas, la cual se define como el estado de mar caracterizado por H_s inferior a un valor umbral estipulado (por ejemplo, 0.10 m, 0.30 m, etc.) dependiendo de lo que se esté estudiando específicamente. Existen al menos una decena de dispositivos para la generación de energía undimotriz. El dispositivo ideal para una zona dada dependerá fundamentalmente de clima de olas y de las condiciones ambientales (geológicas, geográficas, etc.) del sitio en cuestión.

Para obtener información sobre el oleaje costero se debe recurrir preferentemente a observaciones de campo, las cuales son costosas y demandan mucho tiempo y esfuerzo, pero permiten obtener la mejor descripción del clima de olas. También es factible utilizar resultados de modelos globales de olas o bases de datos altimétricos satelitales. Estos datos poseen cobertura global, una resolución espacio-temporal aceptable pero no arrojan resultados confiables en zonas costeras cercanas al continente. Por lo tanto,

para propagar los parámetros de olas desde aguas profundas a costeras deben implementarse modelos regionales de alta resolución que permitan evaluar la transformación del oleaje debido a los procesos de bajío, refracción y pérdidas por fricción de fondo. Al presente tan solo se dispone de resultados regionales de olas correspondientes a la plataforma continental bonaerense y fueguina.

Para el caso de la energía undimotriz (y mucho de lo que sigue podría extenderse a la energía de corrientes) se deben tener en cuenta algunas consideraciones básicas y elementales, las cuales se enumeran a continuación. (1) Debe conocerse el nivel de energía mínimo necesario para la explotación (nivel base), esto surge de un clima de olas local construido para la región de interés. (2) La ocurrencia de tormentas muy severas (destructivas) no deberían ser muy frecuentes, ya que podría poner en peligro la vida útil y el funcionamiento de los dispositivos generadores y sus anclajes. (3) Es deseable y conveniente que en las cercanías de los dispositivos se concentren los potenciales usuarios de la energía, haya técnicos capacitados para el mantenimiento de los dispositivos y se disponga de repuestos y de infraestructura básica para acceder a los generadores ubicados *off-shore*. (4) Los proyectos y emprendimientos no deben impactar negativamente sobre el ambiente marino, costero o terrestre (se debe evitar cualquier tipo de contaminación). No se pueden instalar en reservas naturales. (5) Las estructuras asociadas a los dispositivos no deben afectar (o, en todo caso, afectar mínimamente) a la navegación civil, comercial o militar (no deben interferir los canales de navegación, radas o zonas de maniobra de buques). (6) No deben haber lapsos prolongados con niveles energéticos por debajo del mínimo (si se refiere a la energía undimotriz no deben haber largos períodos de “calmas”).

En la costa bonaerense la cobertura de mediciones de olas es de baja densidad, heterogénea y no simultánea. A continuación se presenta un breve resumen de las observaciones realizadas. En la boca del Río de la Plata (1995 - 2009) la empresa Hidrovía SA (Jan de Nul) midió el oleaje con un equipo direccional Waverider. En la playa de Mar de Ajó, durante la década de 1980 (aproximadamente) el SHN sostuvo observaciones costeras con el método LEO realizando dos observaciones diarias. En la zona de Punta Médanos, entre 1980 y 1984 el SHN mantuvo Dos olígrafos Waverider en la isobata de 10 m. Al igual que en Mar de Ajó, en Pinamar, entre 1989 y 2013 el SHN sostuvo observaciones costeras con método LEO. En Mar del Plata - Club de Pescadores - desde el 2013 al presente el SHN mantiene observaciones de las olas tomadas desde el muelle de pescadores. En Puerto Quequén se dispuso un olígrafo Interocean System modelo S4ADW, a unos 400 m de distancia de la escollera S, profundidad 13 m, en 2005. El mismo es gestionado por el Consorcio del Puerto. En Faro Claromecó, al igual que en Pinamar y en Mar de Ajó, se mide desde 2013 los parámetros de las olas desde la playa empleando el método LEO. Finalmente, en la Torre Mareográfica (Km. 60 del canal principal de acceso a Bahía Blanca) el Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca mide olas (no direccionales) desde el 2001 al presente.

Como se describió precedentemente, en la región costera bonaerense no se dispone de una cobertura ideal en lo que respecta a mediciones directas de olas. Sin embargo, las observaciones directas disponibles han sido utilizadas para validar modelos regionales de los cuales se puede obtener información cuantitativa para toda la plataforma bonaerense, zona costera y Río de la Plata Exterior. Sobre la base de estos estudios, en términos generales, se observa que en la zona costera del Partido de la Costa (entre Punta Rasa y Punta Médanos) Hs media está comprendida entre 0.70 y 0.90 m, entre Punta Médanos y Cabo Corrientes entre 0.80 y 1.00 m y, entre cabo Corrientes y Puerto Quequén entre 1.00 y 1.20 m. En condiciones extremadamente energéticas, durante tormentas severas, las alturas de olas en la zona costera pueden aumentar significativamente respecto

de los valores medios indicados precedentemente. Por ejemplo, algunas observaciones directas, obtenidas con un olígrafo anclado en la boca del Río de la Plata, revelan alturas significativas de hasta 4.50 m y, en la localidad costera de Pinamar se reportaron alturas superiores a 3 m. De un estudio numérico realizado para la zona costera comprendida entre Bahía Blanca y Quequén se obtuvo que la Hs media (máxima) anual aumenta hacia el E, desde 0.40 m (1.16 m) en cercanías del estuario de Bahía Blanca hasta valores que no superan 1.50 m (9 m) en inmediaciones del Puerto Quequén.

Con respecto al aprovechamiento energético de las olas puede concluirse que la potencia media anual en la costa bonaerense sería inferior a 25 kW/m, sin embargo, cabe destacar que en Punta Médanos, Mar del Plata y Quequén durante condiciones de tormenta la potencia por unidad de ancho de cresta puede superar holgadamente los 30 kW/m. No obstante, debe resaltarse que estos períodos altamente energéticos son transitorios pudiendo pasar semanas sin registrarse oleaje costero de porte (superior a 2-3 m).

Si bien en la región costera bonaerense la densidad de observaciones de olas es baja, heterogénea y no simultánea, en el litoral costero patagónico, entre la desembocadura de río Negro y el estrecho de Magallanes el panorama es bastante más desalentador. Según los registros disponibles en el SHN solo se cuentan con observaciones visuales de olas en Playa Unión, al S de golfo Nuevo, y en Caleta Paula, en el golfo San Jorge al S de Caleta Olivia, obtenidas con un instrumento Interocean S4A entre 1994 y 2000, aproximadamente. Esta información es insuficiente para validar simulaciones numéricas costeras y, por lo tanto, no se dispone de registros de modelos de olas regionales convenientemente validados para la zona costera en las plataformas continentales de las provincias de Río Negro, Chubut o Santa Cruz. Por lo tanto no se dispone de datos fehacientes que permitan valorar el potencial energético de las olas en esta vasta zona del litoral argentino. Esto último no quita que existan localidades costeras puntuales que posean un potencial energético adecuado pero, al presente, no se poseen registros ni investigaciones específicas que permitan corroborar la existencia de tales localidades.

En la plataforma fueguina se dispone de datos de olas *off-shore* (no costeros) suministrados por empresas relacionadas con la exploración y explotación del petróleo. De un estudio numérico apoyado en observaciones de campo se concluyó que en la plataforma continental fueguina la Hs aumenta gradualmente de W a E, con valores que van desde alrededor de 1 m cerca de la costa hasta aproximadamente 3 m hacia el centro de la plataforma continental. Asimismo, los resultados obtenidos muestran una muy escasa variabilidad estacional, con una tendencia a alturas levemente mayores en primavera. La variabilidad mensual es también baja. El estudio realizado sobre la variabilidad de los campos anuales de alturas, períodos y direcciones revela que las principales variaciones se aprecian en los campos de direcciones, que si bien son predominantes del SW-WSW, algunos años muestran predominio neto del W, del WSW o del SW. Sobre la base de este estudio se concluye que la mayor disponibilidad de potencia (más de 60 kW/m) se encuentra “offshore”, a más de 100 km de distancia de la costa. Por el contrario, cerca de la costa, la potencia teórica es inferior a 20 kW/m. Se puede apreciar que la potencia se distribuye bastante regularmente a lo largo de todo el año. Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, los dispositivos más convenientes de generación de energía eléctrica a partir de las olas serían aquellos diseñados para ser proyectados lejos de la costa. Pero, por otro lado, estos tienen la desventaja del consecuente costo adicional que significaría el transporte de energía hacia el continente. Considerando la baja densidad poblacional de la costa fueguina (en la isla de Tierra del Fuego existen tan solo dos ciudades: Río Grande, sobre la margen izquierda del río que le da nombre, y Ushuaia, emplazada al oeste del Canal Beagle) y la

relativamente baja cantidad de energía de olas aprovechable cerca de la costa, esta fuente energética parecería ser tan sólo un recurso secundario capaz de abastecer un pequeño porcentaje de las necesidades de la región.

2. Propuesta de posibles zonas de interés energético

Sobre la base de lo expresado precedentemente se sugieren las regiones que se presupone podrían ser de posible aprovechamiento energético de corrientes de marea y de olas. Desde ya se resalta que estas conclusiones son preliminares y que en caso de encarar emprendimientos de explotación de energías se requiere de antemano un estudio oceanográfico completo que incluya no solo el potencial energético aprovechable sino que también el consecuente impacto ambiental que provoquen los dispositivos, anclajes y tendidos de cables.

2.1. Corrientes de marea

Según el relevamiento de datos históricos presentado para el litoral atlántico argentino, la región costera patagónica comprendida entre el S del golfo San Jorge (cabo Blanco) y el N de bahía San Sebastián parecería tener las mayores intensidades de corriente. Por otro lado, en el interior de las rías/estuarios santacruceños (Deseado, San Julián, Santa Cruz, Gallegos) se dan las mayores intensidades de corriente de marea las cuales superan holgadamente 1.5 m/s.

2.2. Olas

En el caso de las olas, la situación es menos clara que para las corrientes debido a la carencia de datos de campo. No obstante, basado en la información disponible y en la interpretación de resultados de modelo numéricos, parecería, a priori, que la costa bonaerense comprendida entre Mar del Plata y Quequén ofrecería el mayor potencial energético aprovechable. Sin embargo, se destaca que la mayor porción del litoral atlántico argentino está aún sin explorar en la que concierne al relevamiento de las olas.

3. Costos de las tecnologías de aprovechamiento de energías marinas

Este análisis se centra en las tecnologías de olas y de corrientes y en la potencia de la onda de marea. Hay empresas líderes desarrolladoras de tecnología que han logrado direccionar sus productos hacia la comercialización, con instalaciones centradas en áreas muy concentradas, como las aguas de Escocia, Australia y Corea del Sur.

3.1. Costos de las tecnologías de aprovechamiento energético de mareas

La mayor parte de la capacidad energética de las mareas existente en el mundo se vincula a las plantas de represas de mareas, que son efectivamente pequeñas represas construidas para confinar la energía producto de la diferencia de niveles de aguas. Este tipo de plantas no deberían tomarse como base en el mercado de suministro de energía debido a los costos altos de la obra de ingeniería civil, muy diferentes a los de las represas normales,

así como por las preocupaciones del alto impacto ambiental. Las plantas de corriente de marea suelen consistir en turbinas de eje horizontal o vertical que están total o parcialmente sumergidas y fijadas al fondo del mar. A nivel mundial las instalaciones de plantas de marea están sobre los 5 GW.

Las estimaciones de costos son muy variables y la falta de implementación a escala comercial hace que sea difícil evaluar con precisión los costos reales tanto de la instalación a gran escala como de la operación. Las cifras iniciales estiman que el nivel de costo de capital en USD / MW puede llegar a oscilar entre USD 6.5m / MW a más de USD 16m / MW (ver Tabla 1).

3.2. Costos de la tecnología de aprovechamiento energético de olas

Las tecnologías undimotriz puede variar más ampliamente que las tecnologías de aprovechamiento de mareas y tienen un nivel de desarrollo significativamente menor. Los desarrollos de tecnologías de mareas a nivel mundial superan los 5 GW comparado con los desarrollos para el aprovechamiento de olas que están debajo de los 2 GW. Es poco probable que a escala comercial se generen proyectos de gran potencia en el corto plazo.

Los dispositivos de olas pueden estar completamente sumergidos, parcialmente sumergido e incluso en la costa sobre el nivel del mar. Estos pueden encontrarse anclados y fijos o a flote, y no son similares entre ellos. Las principales sub-clases de tecnología incluyen convertidores de olas oscilantes, atenuadores, amortiguadores y las columnas de agua oscilantes.

Desde hace tiempo, los investigadores han sostenido la idea de que la energía procedente de las olas del mar podía funcionar como fuente de energía renovable. Sin embargo, son muchos los desafíos que han obstaculizado el desarrollo tecnológico de dispositivos adecuados en este campo.

En relación con las tecnologías de olas, los proyectos de energía de las mareas se encuentran más avanzados en términos de desarrollo. Además, el campo de las tecnologías subyacentes es bastante más estrecho.

3.3. Potencial de reducción de costos

Hoy en el mundo existen muchas tecnologías que utilizan las energías marinas para la generación de electricidad. Sin embargo es de tener en cuenta que el costo de producción no es competitivo frente a otras tecnologías más conocidas. Por ejemplo, el costo actual, tanto de olas como de mareas, oscila entre 2 a 4 veces más que la generación hidroeléctrica.

Se estima que aquellas tecnologías de energías renovables, como la marina, que ha alcanzado la etapa de escala comercial, pueden disminuir considerablemente sus costos de inversión. Esta reducción es atribuible al desarrollo de nuevas implementaciones tecnológicas, producto de un constante desarrollo de investigación e innovación, asumiendo el concepto “aprender haciendo”.

Según lo expresa la IEA (Agencia Internacional de Energía) en su informe del año 2009, tanto la energía undimotriz como la mareomotriz son relativamente costosas en comparación con el resto de las energías (convencionales y renovables). Pero en una visión más optimista expresa que a mediano plazo los costos de inversión y generación disminuirán significativamente, pudiendo competir con los costos de otras energías renovables.

En la Tabla 1 se puede observar la comparación de costos de inversión y de operación y mantenimiento de las Energías Marinas, con un valor dólar del año 2005.

Tecnología de Energía Marina	Costos de Inversión (USD ₂₀₀₅ /kW)	Costos de O&M anuales (USD ₂₀₀₅ /kW)	Factor de Planta (%)	Vida útil (años)
Undimotriz	6,200-16,100	180	25-40	20
Mareomotriz	5,400-14,300	140	26-40	20

TABLA 1: resumen de costos básicos disponibles y parámetros de rendimiento para subtipos de tecnologías de energías marinas (IPCC, 2011)

Para cumplir con el objetivo de reducción de costos, es muy importante desarrollar dispositivos confiables y eficientes, que en esa búsqueda puedan cumplir con todas las etapas de madurez tecnológica (TRL) y alcanzar el último nivel que es el de la prueba efectiva y de demostración en el mar.

Las curvas en la Fig. 1, indican los costos de las tecnologías, tanto de olas como de mareas, producto de la evolución de las mejoras de avances “paso a paso” y bajo el concepto, ya mencionado, “aprender haciendo”.

Para un desarrollo eficaz, el sector marino necesita abordar nuevos conceptos como también mejoras con respecto a diseños existentes. En la práctica esto significa considerar un cuidadoso equilibrio entre las medidas de fomento a las tecnologías y la demanda de mercado. Según el informe de Carbon Trust (2011), se han sugerido tasas de aprendizaje a largo plazo para tecnologías de olas y mareas de aproximadamente 10%. Los desarrollos actuales consisten en equipos individuales a escala prototipo; cuando éstos puedan alcanzar una mayor escala de producción, los costos de sus partes componentes podrían reducirse considerablemente.

3.4. Impactos económicos y sociales

La industria energética marina posee una gran repercusión potencial tanto económica como social. Los aspectos más relevantes son los suministros de productos, partes, repuestos, piezas e insumos generales, y la provisión de servicios, tales como el arriendo de buques, servicios e infraestructuras portuarias, alojamiento y transporte del personal, con la consecuente creación de puestos de trabajo.

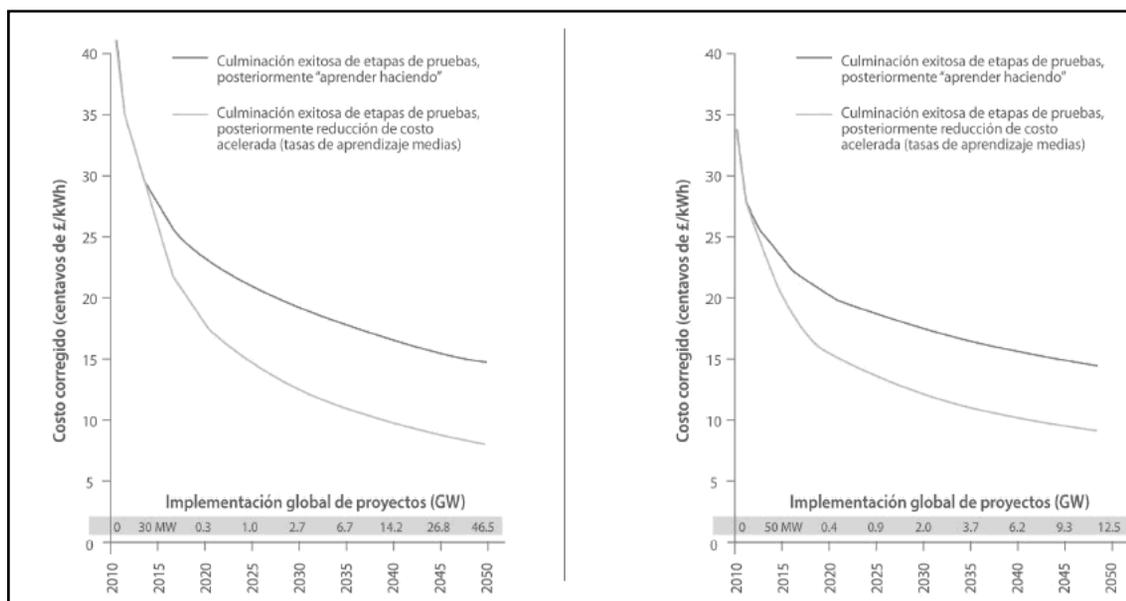


Fig. 1: curva de reducción de costos proyectada para los sectores de energías mareomotriz (izquierda) y undimotriz (derecha) bajo un escenario normal y un escenario de costos acelerado a través de la innovación. (Carbon Trust, 2011).

3.5. Beneficios para inversores

El Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva dispone de líneas de financiamiento para el desarrollo de proyectos en energías renovables. Asimismo, diversas instituciones del sistema de ciencia y tecnología realizan I+D en esta materia.

Los inversores pueden beneficiarse de diversos incentivos fiscales, como el reintegro anticipado del Impuesto al Valor Agregado (IVA), la amortización acelerada de los bienes de capital e infraestructura en el Impuesto a las Ganancias y la exención del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta, del Impuesto sobre los Combustibles Líquidos y el Gas Natural y de la Tasa de Infraestructura Hídrica.

3.6. Mecanismos de apoyo tarifario

Sin el apoyo gubernamental las tecnologías marinas no son competitivas en términos de costos de energía. En el caso de las Energías Marinas se puede actuar regulando el precio de venta de la electricidad generada, por medio de la introducción de una ayuda fiscal o financiera por kW de capacidad instalada (CAPEX), o a través de la fijación total o parcial de las tarifas a percibir por cada kWh generado e incorporado a la red. En estos dos casos, el mercado regula la cantidad de potencia a instalar.

Esta intervención regulatoria puede establecer legalmente el nivel de potencia o generación a alcanzar, donde el mercado es el que fija el precio.

Otros tipos de apoyo directo son:

Subastas: los promotores son invitados a enviar ofertas por una cantidad limitada de potencia o energía en un periodo dado. Las compañías que oferten el suministro al menor coste ganan contratos a largo plazo para llevarlo a cabo, generalmente a lo largo de un periodo de 15-20 años.

Subsidios a la inversión: Algunos países conceden ayudas por un porcentaje del coste de la inversión en algunas tecnologías, lo que reduce el coste del capital.

Incentivos Fiscales: Se usan diferentes opciones para fomentar la generación de fuentes renovables con instrumentos fiscales, por ejemplo la aplicación de un IVA reducido, exenciones de impuestos de los dividendos generados por estas inversiones, amortizaciones aceleradas, etc.

Al margen de las estrategias anteriormente descritas, hay otras que pueden tener un impacto indirecto en la producción de energía a partir de fuentes renovables. Las más importantes son:

- Ecotasas a la electricidad producida con fuente no renovables
- Políticas de CO₂ como tasas o derechos de emisión
- Reducciones de las subvenciones a la energía nuclear o de origen fósil

Referencias bibliográficas

- M.R. Chingotto, *Los recursos naturales, marítimos y fluviales de la República Argentina*, Ed. Dunken, Buenos Aires, 2003.
- A. Piola, E. Palma, Mareas (SIHN–UNS-IADO-CONICET), en *Atlas de Sensibilidad Ambiental de La Costa y del Mar Argentino*, 1ª Edición, 2004.
- A. Piola, *Olas* (SIHN – CONICET), en *Atlas de Sensibilidad Ambiental de La Costa y del Mar Argentino*, 1ª Edición, 2004.
- R.C. Vetter, *Oceanografía: la última frontera*, El Ateneo, Buenos Aires, 1976.
- J.R. Moore, *Oceanografía*, Selecciones de Scientific American.
- J.H. Steele, S.A. Thorpe & K.K. Turekian (Eds), *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 2nd Edition, Elsevier, 2009.
- A. Khaligh & O. Oner, *Energy Harvesting*, CRC Press, 2009.
- P. Dehlinger, *Marine Gravity*, Elsevier, 1978.
- R.H. Charlier & C.W. Finke, *Ocean Energy: Tide and Tidal Power*, Springer, Berlin, 2009.
- J. Cruz, *Ocean Wave Energy: Current Status and Future Perspectives*, Springer, Berlin, 2008.
- P.H. LeBlond & L.A. Mysak, *Waves in the Ocean*, Elsevier, 1978.
- Derrotero Argentino Parte II*, SHN, Buenos Aires, 2004.
- Derrotero Argentino Parte III*, SHN, Buenos Aires, 2005.
- J. Brooke, *Wave energy conversion*, Elsevier Ocean Engineering Book Series, Elsevier, Oxford, volume 6, UK, 2003.
- E.J.D. Campos, J.A. Lorenzetti, M.R. Stevenson, J.L. Stech & R.B. Souza, *An. Acad. Bras. Sci.* 68 (Suppl. 1), 49 (1996).
- L. Cavaleri & P. Malanotte-Rizzoli, *J. Geophys. Res.* 86 (C11, 10) 961 (1981).
- W. Dragani, C. Simionato, M. Nuñez & M. Engel, *Estudio de la disipación de la energía por fricción de fondo en la plataforma continental argentina y Río de la Plata utilizando un modelo de circulación 3-D forzado con marea*, Comunicación presentada en la 21a Reunión Científica de Geofísica y Geodesia (AAGG), Rosario, 2002.

- W. Dragani, E. Garavento, C. Simionato, M. Núñez, P. Martín & M.I. Campos, *Wave Simulation in the Outer Río de la Plata Estuary: an evaluation of Swan Model*. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* (2008).
- W. Dragani, P. Martín, M.I. Campos & C. Simionato, *Are wind wave heights increasing in south-eastern South American continental shelf between 32S and 40S*, *Continental Shelf Research*, doi:10.1016, (2010).
- O.A. Frumento, *El clima de las Provincias Patagónicas*, Centro Nacional Patagónico (CONICET), comunicación personal, 2003.
- N.W. Lanfredi, J. Pousa, C.A. Mazio & W. Dragani, *Wave-Power Potencial along the Coast of the Province of Buenos Aires, Argentina*, *Energy* 17, N° 11 (1992).
- M. McCormick, *Ocean Engineering Wave Mechanics*, Wiley, NY, 1973.
- J.L. Pousa, W. Dragani, C. A. Mazio, N.W. Lanfredi, *La energía oceánica en el Atlántico Sudoccidental. Posibilidades e impacto ambiental*. *Revista de Ciencias del Mar Thalassas* 11, 59 (1995).
- T.W. Thorpe, *A brief review of wave energy*, UK Department of Trade and Industry (1999).